

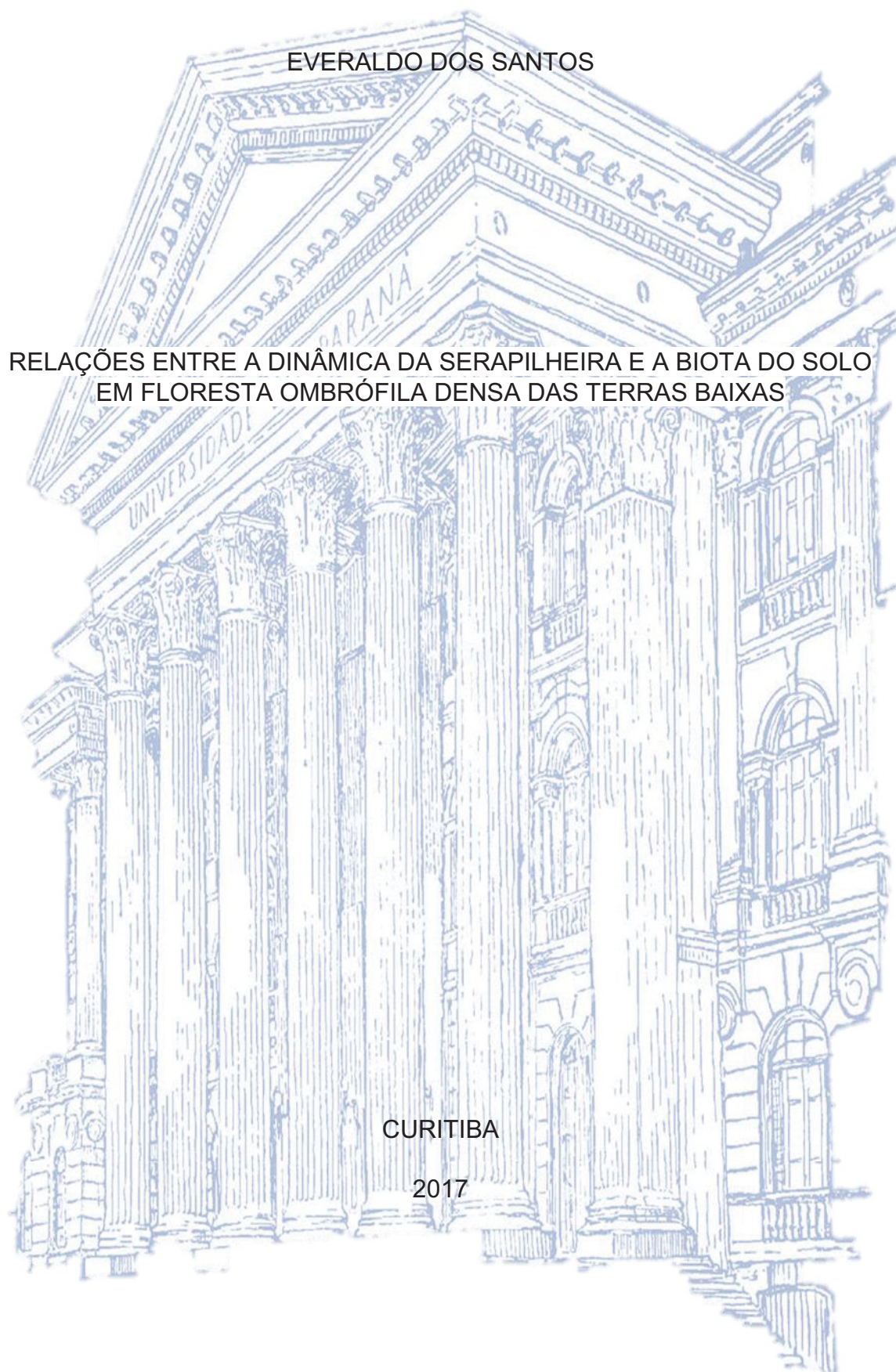
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EVERALDO DOS SANTOS

RELAÇÕES ENTRE A DINÂMICA DA SERAPILHEIRA E A BIOTA DO SOLO
EM FLORESTA OMBRÓFILA Densa DAS TERRAS BAIXAS

CURITIBA

2017



EVERALDO DOS SANTOS

RELAÇÕES ENTRE A DINÂMICA DA SERAPILHEIRA E A BIOTA DO SOLO
EM FLORESTA OMBRÓFILA Densa DAS TERRAS BAIXAS

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Renato Marques
Coorientador: Prof^a Dr^a Kelly Geronazzo
Martins
Coorientador: Dr. Jorge Durán Humia

CURITIBA

2017

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Santos, Everaldo dos

Relações entre a dinâmica da serapilheira e a biota do solo em
floresta ombrófila densa das terras baixas / Everaldo dos Santos. –
Curitiba, 2017.
142 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Renato Marques

Coorientadores: Profa. Dra. Kelly Geronazzo Martins

Dr. Jorge Durán Humia

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa:
Curitiba, 23/06/2017.

Área de concentração: Conservação da Natureza.

1. Solos florestais. 2. Serapilheira. 3. Serapilheira – Biodegradação. 4.
Teses. I. Marques, Renato. II. Martins, Kelly Geronazzo. III. Humia, Jorge
Durán. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V.
Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.114

Bibliotecária: Berenice Rodrigues Ferreira – CRB 9/1160



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Setor CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA FLORESTAL

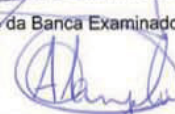
TERMO DE APROVAÇÃO

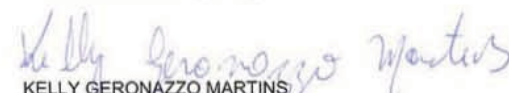
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **EVERALDO DOS SANTOS** intitulada: **RELAÇÕES ENTRE A DINÂMICA DA SERAPILHEIRA E A BIOTA DO SOLO EM FLORESTA OMBRÓFILA Densa das Terras Baixas**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.


A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.


Curitiba, 23 de Junho de 2017.


RENATO MARQUES
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)


ALESSANDRO CAMARGO ANGELO
Avaliador Interno (UFPR)


KELLY GERONAZZO MARTINS
Co-orientador - Avaliador Externo (UNICENTRO)


MARCIA MARZAGAO RIBEIRO
Avaliador Externo (UFPR)


LUIS FERNANDO ROYEDA
Avaliador Externo (UNESPAR)



À toda minha família, a Glaicy e as minhas filhas Sofia e Sarah, a minha mãe Ana Siqueira dos Santos, ao meu pai José dos Santos (in memorian|), irmãos Elizete, Edemilson, Eloise e Edenise, aos pais da Glaicy Vandira e Aparecido

OFEREÇO

À Glaicy, Sofia e Sarah, pois vocês são o meu sol.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus que me conduz pelo melhor caminho.

À Universidade Federal do Paraná pública e gratuita.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade em realizar este doutoramento.

Ao meu orientador Prof. Dr. Renato Marques, pela sua orientação, conhecimento compartilhado, paciência, parceria e amizade. Muito Obrigado!

Aos meus co-orientadores Dra^a Kelly Geronazzo Martins e Dr. Jorge Durán Húmia, pelas valiosas orientações, amizade, apoio e ajuda.

À toda minha família, principalmente a Glaicy, pelo amor e companheirismo em todos os momentos e que além de tudo é minha luz e inspiração; e as minhas filhas Sofia e Sarah que são minhas fontes inesgotáveis de motivação, alegria e inspiração.

Ao Instituto Federal do Paraná instituição a qual tenho orgulho de pertencer e que apoiou meu doutoramento.

A Universidade de Coimbra, em Portugal, que me oportunizou e acolheu no período de estágio sanduíche.

Aos pesquisadores Dr. Jorge Durán Humiá e Dr^a Alexandra Rodrigues, do Centro de Ecologia Funcional do departamento de Ciências da Vida da Universidade de Coimbra, pela oportunidade de aprendizagem, acolhimento e amizade. Aliás estendo à toda família, principalmente Felix e Adelia que me receberam em Agussantas na Galícia, Espanha.

A Laura García-Velazquez da universidade Pablo Olavide de Sevilha pelo apoio nas atividades de campo no período sanduíche, e ao pesquisador Ruben Heleno da Universidade de Coimbra, pela companhia e conversas nos almoços.

Aos amigos Jonas Eduardo Bianchin, Hilbert Blum, Francihele Cardoso Muller, Cilmar Antônio Dalmaso, Carolina Benghi Pinto e Cristine gobel Donha pela amizade, ajuda e apoio em atividades de campo e laboratório.

Aos meus amigos e colegas de trabalho do eixo de meio ambiente do IFPR Campus Paranaguá, especialmente a Profª Joana R. Zablonsky que assumiu minhas aulas em dados momentos que precisei.

A Fabiana Gavelaki do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, do Departamento de Solos e Eng. Agrícola do Setor de Ciências Agrárias, pelo apoio e ajuda no laboratório.

Aos estudantes do Instituto Federal do Paraná, campus Paranaguá, Lucas Matheus do Nascimento Santos, Renata Cristina dos Santos, Bianca e Amanda.

A todos aqueles que ajudaram de uma forma ou de outra na realização desse trabalho.

MUITO OBRIGADO!

PEANUTS

CHARLES M. SCHULZ



RESUMO

O entendimento da dinâmica de decomposição da serapilheira e consequente mineralização e transferência de nutrientes, principalmente o carbono e o nitrogênio, para o solo é muito importante no Espodossolo sob Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas devido as suas características químicas, físicas e biológicas. Desta forma, o trabalho teve como objetivos, caracterizar a dinâmica de deposição, acúmulo e decomposição da serapilheira, bem como entender a relação entre os macronutrientes e os processos de decomposição da serapilheira acumulada; avaliar a influência da sazonalidade sobre a distribuição, diversidade e funcionalidade da macrofauna edáfica na interface solo-serapilheira e sua relação com o processo de decomposição; avaliar a dinâmica da mineralização do nitrogênio do solo e a relação entre os atributos microbiológicos e químicos do Espodossolo em diferentes estações do ano. Os resultados mostraram a seguinte ordem decrescente de deposição de serapilheira: Folhas>Ramos Finos>Miscelânea>FFS (Flores, Frutos e Sementes) em todas as estações do ano. E o maior aporte anual de folhas foi no verão. A serapilheira acumulada foi maior no período de menor decomposição, relacionando-se com menores temperaturas médias e precipitação, no outono e inverno. Houve uma tendência significativa de maior relação C:N no verão e primavera. Quanto à macrofauna edáfica, as ordens mais frequentes no solo foram Hymenoptera, Isoptera, Oligochaeta. E na serapilheira foram Hymenoptera, Isoptera, Isopoda e Aranea. O índice de diversidade de Shannon da macrofauna edáfica foi maior na serapilheira do que no solo em todas as estações do ano. Na serapilheira, as frequências mais altas foram dos grupos social Hymenoptera na primavera e verão, e detritívoros – decompositores no outono. A Análise de Correspondência Canônica (CCA) mostrou correlação significativa entre os grupos funcionais de macroinvertebrados edáficos, de acordo com os hábitos alimentares e a constante de decomposição (k), associando-se ao maior teor de carbono na fração folhas em decomposição da serapilheira acumulada (FD). A respiração basal do solo (RBS) foi maior na profundidade 0-5 e o inverno apresentou a maior taxa de C-CO₂, seguido do outono. O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi maior na primavera e menor no outono, na profundidade 0-5 cm. O quociente metabólico (qCO₂) foi maior no verão na profundidade 5-10 cm. A análise de componentes principais (ACP) mostrou que De maneira geral a maior (RBS) ocorreu no outono e mostrou correlação com a produção de nitrato de amônio em períodos de menor precipitação (mm) e temperatura média (°C). A CBM mostrou maior correlação com a precipitação, temperatura média e umidade do solo com maior concentração de matéria orgânica (M.O) na primavera e no verão. O ensaio aeróbico de mineralização do N mostrou resultados coerentes com ensaio anaeróbico, indicando efeito das condições ambientais na predominância da amonificação ou da nitrificação em diferentes estações.

PALAVRAS-CHAVE: Serapilheira; decomposição; macrofauna edáfica; respiração edáfica; mineralização do nitrogênio.

ABSTRACT

The understanding of the dynamics of litter decomposition and consequent mineralization and transfer of nutrients, especially carbon and nitrogen, to the soil is very important in the Espodosol under low Lowland Atlantic Rainforest due to its chemical, physical and nutritional characteristics. The objective of this work was to characterize the dynamics of deposition, accumulation and decomposition of the litter, as well as to understand the relationship between the macronutrients and the processes of decomposition of accumulated litter, to evaluate the influence of seasonality on the distribution, diversity and functionality of edaphic macrofauna at the soil-litter interface and its relation to the decomposition process; to evaluate the relationship between the microbiological and chemical attributes of Spodosol in different seasons and to understand the dynamics of soil nitrogen mineralization in the different seasons of the year. The results showed that the most deposited litter fractions were Leaves> Fine Branches> Miscellaneous> FFS (Flower, Fruit and Seed) in all seasons of the year. And the biggest annual contribution of leaves was in the summer. The accumulated litter was higher in the period of less decomposition, related to lower average temperatures and precipitation, in autumn and winter. There was a significant trend of higher C: N ratio in summer and spring. As for the edaphic macrofauna, the most frequent orders in the soil were Hymenoptera, Isoptera, Oligochaeta. In the litter higher frequent order was Hymenoptera, Isoptera, Isopoda, and Aranea. The Shannon diversity index of edaphic macrofauna was higher in litter than in soil at all seasons of the year. In the litter, the highest frequencies were from the social groups Hymenoptera in spring and summer, and detritavores - decomposers in autumn. The Canonical Correspondence Analysis (CCA) showed a significant correlation between the functional groups of edaphic macroinvertebrates, according to the eating habits and the decomposition constant (k), being associated to the higher carbon content in the fraction in the decomposed leaves of the accumulated litter (FD). Soil basal respiration (RBS) was higher at depth 0-5 and winter presented the highest C-CO₂ rate, followed by autumn. The carbon of the microbial biomass (CBM) was higher in spring and lower in the autumn, at depth 0-5 cm. The metabolic quotient (qCO₂) was higher in summer at depth 5-10 cm. Principal component analysis (PCA) showed that in general, the largest (RBS) occurred in autumn and showed correlation with ammonium nitrate production in periods of lower precipitation (mm) and mean temperature (°C). CBM showed a higher correlation with precipitation, mean temperature and soil moisture with higher organic matter concentration (M.O) in spring and summer. The aerobic N mineralization assay showed results consistent with anaerobic assay, indicating effect of environmental conditions on the predominance of ammonification or nitrification in different seasons.

KEYWORDS: Litterfall; decomposition; edaphic macrofaun; soil respiration; nitrogen mineralization.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. Mapa de localização geográfica do Parque Estadual do Palmito, no litoral do Paraná..... 22

Figura 2. a) Variáveis meteorológicas, temperatura mensal média (°C), precipitação mensal média (mm) e velocidade do vento (m/s) entre os anos de 2015 e 2016, correspondente ao período de estudo; b) Série histórica (1961 – 2016) das variáveis meteorológicas temperatura mensal média (°C), precipitação mensal média (mm) e velocidade do vento (m/s)..... 23

Figura 3. Foto a) Os pontos georreferenciados a cada 10 metros que marcam a parcela de estudo. Foto b) Vista geral da parcela mostrando a diferença de declividade no Parque Estadual do Palmito..... 26

Figura 4. a) e b) Coletor de serapilheira depositada instalado a cada 50 metros no Parque Estadual do Palmito..... 27

CAPÍTULO 2

Figura 1. Gráfico de variáveis meteorológicas, nas quatro estações, entre os anos de 2015 e 2016, correspondente ao período de estudo, com informações sobre temperatura média, precipitação por período e velocidade média do vento. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2016) e SIMEPAR (2016)..... 33

Figura 2. Gráfico de deposição estacional da serapilheira com ANOVA pelo teste de Duncan a 5% significância ($p < 0,05$)..... 37

Figura 3. Fitomassa depositada nas frações Folhas, Ramos Finos, Flores, Frutos e Sementes (FFS) e Miscelânea. ANOVA pelo teste de Duncan a 5% ($p < 0,05$) significância para folhas e ramos finos e Duncan ($p < 0,10$) para a fração

FFS..... 38

Figura 4. Gráfico de deposição mensal da serapilheira em (kg/ha ⁻¹) e % com as variáveis meteorológicas precipitação (mm) e temperatura média (°C), no período de abril de 2015 a março de 2016.....	39
Figura 5. Gráfico de Análise de Redundância (RDA) mostrando a correlação de Person entre a matriz de deposição mensal da serapilheira em kg/ha ⁻¹ com as variáveis meteorológicas precipitação Pp (mm), velocidade média do vento Vv (m/s) e temperatura média Tm (°C).....	40
Figura 6. Gráfico de serapilheira acumulada total em (kg/ha ⁻¹) e nas diferentes frações Folhas Recém depositadas (FR), Folhas em decomposição (FD), Flores, Frutos e Sementes (FFS), Raiz (R), fração Peneira (P) e Ramos Finos (RF), com análise de variância (ANOVA) pelo teste de Duncan (p<0,05).....	42
Figura 7. Teores de Nitrogênio e Carbono nas frações Folhas Recém depositadas (FR), Folhas em Decomposição (FD), Flores, Frutos e Sementes (FFS), Raiz (R), fração Peneira (P) e Ramos Finos (RF) nas diferentes estações entre os anos de 2015 e 2016.....	46
Figura 8. Relação C:N nas frações Folhas Recém depositadas (FR), Folhas em Decomposição (FD), Flores, Frutos e Sementes (FFS), Raiz (R), fração Peneira (P) e Ramos Finos (RF) nas diferentes estações entre os anos de 2015 e 2016.....	48
Figura 9. Teores de Fósforo nas frações Folhas Recém depositadas (FR), Folhas em Decomposição (FD), Flores, Frutos e Sementes (FFS), Raiz (R), fração Peneira (P) e Ramos Finos (RF) nas diferentes estações entre os anos de 2015 e 2016.....	49
Figura 10. Teores de Potássio nas frações Folhas Recém depositadas (FR), Folhas em Decomposição (FD), Flores, Frutos e Sementes (FFS), Raiz (R), fração Peneira (P) e Ramos Finos (RF) nas diferentes estações entre os anos de 2015 e 2016.....	50
Figura 11. Teores de Cálcio nas frações Folhas Recém depositadas (FR), Folhas em Decomposição (FD), Flores, Frutos e Sementes (FFS), Raiz (R),	

fração Peneira (P) e Ramos Finos (RF) nas diferentes estações entre os anos de 2015 e 2016.....	51
---	----

Figura 12. Teores de Magnésio nas frações Folhas Recém depositadas (FR), Folhas em Decomposição (FD), Flores, Frutos e Sementes (FFS), Raiz (R), fração Peneira (P) e Ramos Finos (RF) nas diferentes estações entre os anos de 2015 e 2016.....	52
--	----

CAPÍTULO 3

Figura 1. Índice de diversidade de Shannon (H) na serapilheira e no solo em diferentes estações do ano.....	70
---	----

Figura 2. Índice de equitabilidade de Pielou (e) na serapilheira e no solo em diferentes estações do ano.....	71
---	----

Figura 3. Índice de dominância de Simpson (S) na serapilheira e no solo em diferentes estações do ano.....	72
--	----

Figura 4. Análise de Correspondência Canônica (ACC) mostrando correlação dos grupos funcionais da macrofauna, com a decomposição (k) da serapilheira, frações da serapilheira acumulada (Folhas Recém depositadas (FR), Folhas em Decomposição (FD), Flores, Frutos e Sementes (FFS), Raiz (R), fração Peneira (P) e Ramos Finos (RF), além dos macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, relação C:N e carbono nas diferentes estações do ano.....	76
--	----

CAPÍTULO 4

Figura 1. Gráfico da análise de variância (ANOVA) da média de respiração basal do solo (RBS), nas profundidades 0-5 cm e 5-10 cm, pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).....	93
--	----

Figura 2. Gráfico da análise de variância (ANOVA) da média do carbono da biomassa microbiana (CBM) nas profundidades 0-5 cm e 5-10 cm pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).....	94
--	----

Figura 3. Gráfico das médias do quociente metabólico (qCO_2) do solo nas profundidades 0-5 cm e 5-10 cm.....	95
--	----

Figura 4. Gráfico de Análise de Componentes Principais (ACP) mostrando correlação entre a respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana (CBM) e quociente metabólico (qCO_2) e atributos químicos como o fosfato, nitrato, amônio e pH nas duas profundidades do solo a) profundidade 0-5 cm e b) profundidade 5-10 cm..... 97

Figura 5. Análise de Componentes Principais (ACP) mostrando correlação entre a respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana (CBM), temperatura média ($^{\circ}C$), precipitação média (mm) e umidade do solo ($\%H_2O$ no Solo) nas duas profundidades do solo a) profundidade 0-5 cm e b) profundidade 5-10 cm..... 100

CAPÍTULO 5

Figura 1. a) Câmara fitoclimática Aralab. b) IRGA (Infra Red Gas Analize) EGM 4 pp Systems..... 113

Figura 2. Espectrofotômetro de fluorescência HEALES MB 580 114

Figura 3. a) Dinâmica do N inorgânico no solo ao longo de 75 dias nas diferentes estações do ano na profundidade 0-5 cm. b) Dinâmica do N inorgânico no solo ao longo de 75 dias nas diferentes estações do ano na profundidade 5-10 cm..... 116

Figura 4. a) N mineral acumulado ao longo do período de 75 dias nas diferentes estações do ano, na profundidade 0-5 cm. b) N mineral acumulado ao longo do período de 75 dias nas diferentes estações do ano, na profundidade 5-10 cm..... 119

Figura 5. Taxa de respiração acumulada ao longo de 15 dias gerada por ensaio de respiração comparando o outono com a primavera nas profundidade 0-5 e 5-10 cm e taxa total respirada representada em linha..... 120

Figura 6. Comparação da taxa de nitrificação aeróbica ($\mu g.N/g^{-1}$ de solo seco) no outono e primavera nas profundidades 0-5 e 5-10 cm..... 121

Figura 7. Comparação da taxa de amonificação aeróbica ($\mu g.N/g^{-1}$ de solo seco) no outono e primavera nas profundidades 0-5 e 5-10 cm..... 122

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Caracterização química do Espodossolo sob floresta em estágio avançado no Parque Estadual do Palmito.....	24
---	----

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Análise de Redundância (RDA) entre a matriz de deposição das frações de serapilheira produzida e variáveis meteorológicas na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas	40
---	----

Tabela 2. Resultados da constante de decomposição (k), tempo médio de renovação da serapilheira (Tr) em meses, tempo de meia vida de 50% da serapilheira T(0,5) e de 95% da serapilheira T(0,05) anual e em diferentes estações.....	45
--	----

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Composição dos grupos funcionais de acordo com a função trófica.....	65
--	----

Tabela 2. Densidade populacional (m ²) e frequência relativa (%) de macrofauna, em amostras de solo e serapilheira da Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, nas diferentes estações do ano	68
--	----

Tabela 3. Distribuição de frequência (%) de grupos funcionais da macrofauna edáfica, de acordo com os hábitos alimentares e função trófica, na serapilheira e no solo, em diferentes estações do ano.....	74
---	----

CAPÍTULO 5

Tabela 1. Nitrogênio potencialmente mineralizável do solo nas diferentes estações nas profundidades 0-5 cm e 5-10 cm	118
--	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

F.O.D.T.B	– Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas
PPBio	– Programa de Pesquisa em Biodiversidade
SEMA	– Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SIMEPAR	– Sistema Meteorológico do Paraná
INMET	– Instituto Nacional de Meteorologia
SPVS	– Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental
FFS	– Flores, Frutos e Sementes
MISC	– Fração Miscelânea
FR	– Folhas recém depositadas
FD	– Folhas em decomposição
P	– Fração Peneira
RF	– Fração Ramos Finos
k	– Constante k (taxa de decomposição da serapilheira)
CBM	– Carbono da Biomassa Microbiana
RBS	– Respiração Basal do Solo
qCO ₂	– Quociente metabólico
COT	– Carbono Orgânico Total
CCA	– Análise de Correspondência Canônica
ACP	– Análise de Componentes Principais
RDA	– Análise de Redundância
ANOVA	– Análise de Variância
ICP	– Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Acoplado Indutivamente

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: CONTEXTUALIZAÇÃO E ÁREA DE ESTUDO.....	19
1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVOS ESPECÍFICO	20
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4. REFERÊNCIAS.....	27
CAPÍTULO 2: APORTE, ACÚMULO E DECOMPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa DAS TERRAS BAIXAS, PARANAGUÁ, PR.....	30
RESUMO.....	30
ABSTRACT.....	30
1. INTRODUÇÃO.....	31
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4. CONCLUSÕES.....	52
5. REFERÊNCIAS.....	53
CAPÍTULO 3: MACROFAUNA EDÁFICA E SUA RELAÇÃO COM A DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA NA FLORESTA OMBRÓFILA Densa DAS TERRAS BAIXAS, EM PARANAGUÁ, PR	58
RESUMO.....	58
ABSTRACT.....	59
1. INTRODUÇÃO.....	59
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	61
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
4. CONCLUSÕES.....	78

5. REFERÊNCIAS.....	79
CAPÍTULO 4: RELAÇÃO ENTRE ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS E QUÍMICOS DE ESPODOSSOLO, SOB INFLUÊNCIA SAZONAL, EM FLORESTA OMBRÓFILA Densa DAS TERRAS BAIXAS, PARANAGUÁ, PR.....	85
RESUMO.....	85
ABSTRACT.....	85
1. INTRODUÇÃO.....	86
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	87
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	92
4. CONCLUSÕES.....	101
5. REFERÊNCIAS.....	102
CAPÍTULO 5: MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO NO SOLO SOB FLORESTA OMBRÓFILA Densa DAS TERRAS BAIXAS, EM PARANAGUÁ, PR.....	106
RESUMO.....	106
ABSTRACT.....	106
1. INTRODUÇÃO.....	107
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	109
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	114
4. CONCLUSÕES.....	122
5. REFERÊNCIAS.....	123
REFERÊNCIAS GERAIS.....	128

CAPÍTULO 1: CONTEXTUALIZAÇÃO E ÁREA DE ESTUDO

1. INTRODUÇÃO

A Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (FODTB) sobre Espodossolo, como a encontrada no Parque Estadual do Palmito no litoral do Paraná, possui restrições nutricionais ligadas ao material de origem do solo (depósitos sedimentares marinhos). Neste ambiente, a ciclagem de nutrientes, via aporte/decomposição de serapilheira, é fundamental para a manutenção e sustentabilidade do ecossistema (Pinto e Marques, 2003; Schwarzbach, 2005; Rocha, 2006; Protil, 2006; Dickow, et al. 2009). Assim, a serapilheira é a principal via de transferência de carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio que são devolvidos ao solo (Selle, 2007).

A decomposição é um processo essencialmente biológico, em que os organismos invertebrados e os microrganismos são os principais agentes da desestruturação física e química, que ocorre após a deposição do material originário da vegetação. A fauna do solo age por meio de duas vias principais: diretamente, pela modificação física da serapilheira e do ambiente do solo, e indiretamente, pelas interações com a comunidade microbiana González et al, (2001). Seus efeitos diretos na ciclagem biogeoquímica ocorrem por meio da fragmentação e incorporação ao solo de detritos vegetais, promovendo um aumento na disponibilidade de recursos para os microrganismos e mediando a transferência de solutos e particulados profundamente no perfil do solo (Correia e Oliveira, 2005). Os microrganismos são os principais agentes da atividade bioquímica do solo, estando envolvidos diretamente em todos os processos biológicos e relacionados aos processos físicos e químicos. As interações da fauna de solo com os microrganismos e a sua ação sobre a decomposição e ciclagem de nutrientes variam entre os diferentes grupos, sendo resultantes de características intrínsecas a cada grupo e, por vezes, a cada espécie da fauna de solo (Correia e Oliveira, 2005). Por isso, torna-se importante avaliar a ação da macrofauna e dos microrganismos nos processos de decomposição, para um melhor entendimento da dinâmica de transferência de nutrientes para o solo.

A dinâmica dos microrganismos edáficos, em laboratório, pode ser avaliada por diferentes metodologias, como as determinações da respiração basal do solo, do carbono da biomassa microbiana, do quociente metabólico e da mineralização do nitrogênio, cujos resultados podem ser relacionados com aspectos físicos e químicos do solo. Estas avaliações são fundamentais para compreender os processos de mineralização, transferência e mobilidade de nutrientes da serapilheira para o solo (Baretta et al. 2008).

Neste contexto, este trabalho foi desenvolvido em cinco capítulos, sendo um introdutório e quatro capítulos com objetivos específicos que procuraram contribuir para o entendimento da dinâmica da serapilheira na floresta, seu processo de decomposição e sua relação com a biota do solo no retorno dos nutrientes ao solo, em Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas sobre Espodossolo, no litoral do Paraná.

2. OBJETIVO ESPECÍFICOS

Capítulo 2

- Caracterizar a dinâmica de deposição, acúmulo e decomposição da serapilheira, bem como entender a relação entre os macronutrientes e os processos de decomposição da serapilheira acumulada;

Capítulo 3

- Avaliar a influência da sazonalidade sobre a distribuição, diversidade e funcionalidade da macrofauna edáfica na interface solo-serapilheira e sua relação com o processo de decomposição;

Capítulo 4

- Avaliar a relação entre os atributos microbiológicos e químicos do Espodossolo em diferentes estações;

Capítulo 5

- Compreender a dinâmica da mineralização do nitrogênio do solo nas diferentes estações do ano.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Localização e características climáticas e edáficas da área de estudo

O estudo foi realizado no Parque Estadual do Palmito, unidade de conservação administrada pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Paraná (SEMA), no período entre abril de 2015 e maio de 2016. Esta Unidade de Conservação (UC) está situada no município de Paranaguá, na planície litorânea do Estado do Paraná (Figura 1); possui acesso pela Rodovia Eng.º Argus PR 407; e os limites da UC configuram-se ao sul pela PR 407, ao norte pelo canal da Ilha da Cotinga (Baía de Paranaguá), ao leste com o rio dos Almeida e ao oeste com o rio dos Correias. As coordenadas geográficas são latitude 48°31'S e longitude 24°34'W, com altitude variável entre 5 e 12 metros em relação ao nível do mar. A vegetação está disposta sobre solos da classe Espodossolo.

O litoral do estado do Paraná enquadra-se dentro do tipo climático Cfa (Clima subtropical chuvoso e moderadamente quente), úmido em todas as estações e com verão quente, segundo a classificação climática de Koeppen Ipardes (2001), Vanhoni, (2008); SIMEPAR (2016); IBMEP (2016). Ainda, de acordo com (VANHONI, 2008), o Litoral do Paraná não apresenta nenhum período seco durante o ano e as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, embora com uma maior concentração no verão (dezembro, janeiro e fevereiro – com destaque para o mês de janeiro), sendo que o inverno é a estação menos chuvosa. Em relação às variáveis que possam de um modo geral interferir na dinâmica pluviométrica, reconhece-se que estas são resultantes da circulação atmosférica, em conjunto com outros elementos dinâmicos e estáticos, como a influência do oceano e da Serra do Mar.

FIGURA 1. MAPA DE LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO PARQUE ESTADUAL DO PALMITO NO LITORAL DO PARANÁ. FONTE FOTO: GOOGLE MAPS/PREFEITURA DE PARANAGUÁ.

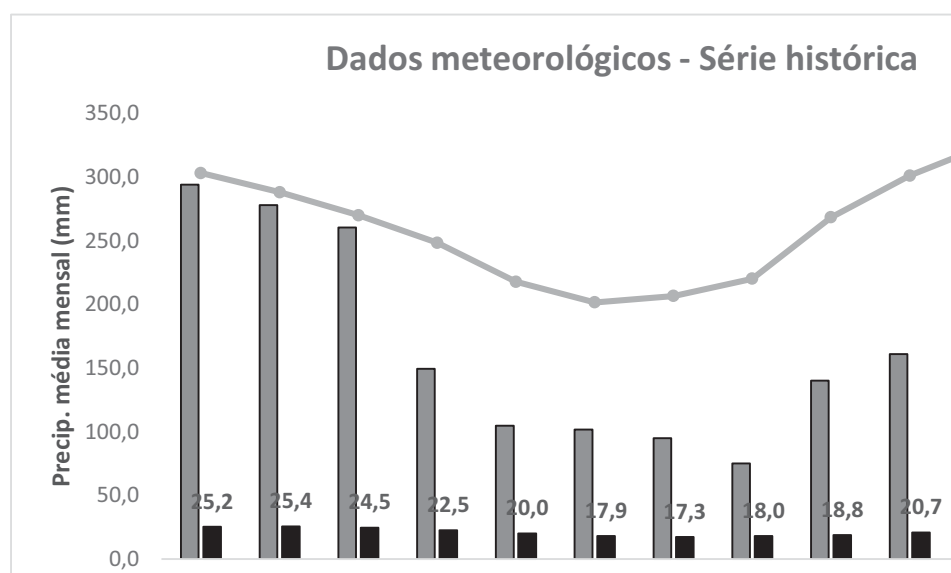


Conforme a série histórica (janeiro de 1961 a março de 2016), as maiores precipitações ocorrem nos meses do verão, com temperaturas acima dos 22 °C; e as menores nos meses do inverno, com temperaturas médias em torno de 18 °C (Figura 2a). As precipitações no verão foram até maiores do que

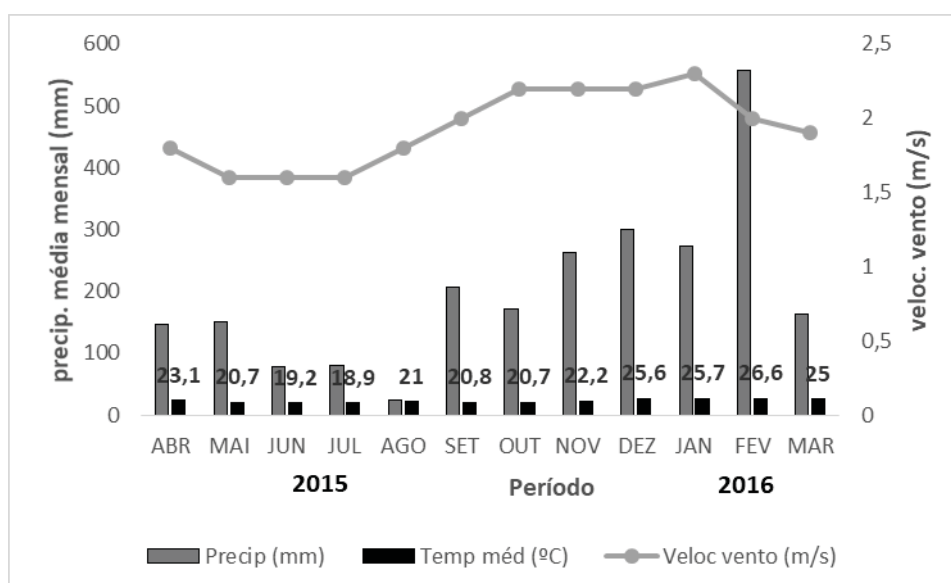
a série histórica e o inverno mostrou médias menores do que as médias históricas. A temperatura no verão durante o período de estudo apresentou em torno de 1 °C maior do que a série histórica e no inverno as temperaturas também foram maiores quando comparado, conforme observado no climograma (Figura 2b).

FIGURA 2. A) TEMPERATURA MENSAL MÉDIA (°C), PRECIPITAÇÃO MENSAL MÉDIA (mm) E VELOCIDADE DO VENTO (M/S) - SÉRIE HISTÓRICA (1961 – 2016); B) DADOS MÉDIOS DOS ANOS DE 2015 E 2016. FONTE: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET (2016) E SIMEPAR (2016).

a)



b)



O solo do Parque Estadual do Palmito é classificado como Espodosolo, segundo o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013). As principais características químicas das camadas superficiais do solo podem ser observadas na Tabela 1.

TABELA 1. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO ESPODOSSOLO, SOB FLORESTA EM ESTÁGIO AVANÇADO NO PARQUE ESTADUAL DO PALMITO.

	pH	Al ⁺³	H + Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	T	P	C
	CaCl ₂								mg/dm ³	g/dm ³
	Cmol/dm ³									
0-5	3,00	0,53	18,82	0,38	0,34	0,05	0,04	19,6	7,4	26,2
5-10	3,20	0,28	16,50	0,33	0,22	0,03	0,03	17,1	2,7	9,9

Fonte: Corrêa (2007).

Vegetação

A vegetação original da área de estudo é a Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas Baixas, chamada de restinga, com florística e estrutura similar às florestas de terras baixas do Atlântico sobre depósitos do Holoceno (Marques et al. 2011). Alguns trechos da Reserva foram submetidos a processos de desmatamento, ocupação por atividade agrícola e depois abandono. Outros trechos sofreram apenas retirada seletiva de árvores. A parcela de estudo está situada em trecho que aparentemente sofreu apenas colheita florestal seletiva, e que se encontra em processo de regeneração natural. É importante destacar que a área de estudo e seu entorno sofrem frequentes quedas de árvores durante tempestades de verão, mas não existe um registro preciso destes eventos. A reserva hoje é um mosaico de diferentes fases sucessionais de vegetação (Marques et al. 2014).

A Floresta Estadual do Palmito apresenta um histórico de intensa exploração, dentre as quais se destacam o manejo do palmito-juçara, a extração de madeira usada em pequenas construções e como fonte de energia; e locais outrora ocupados por moradias e agricultura de subsistência com cultivos de batata-doce, da mandioca e do abacaxi. A Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas está representada por diversos ambientes atualmente

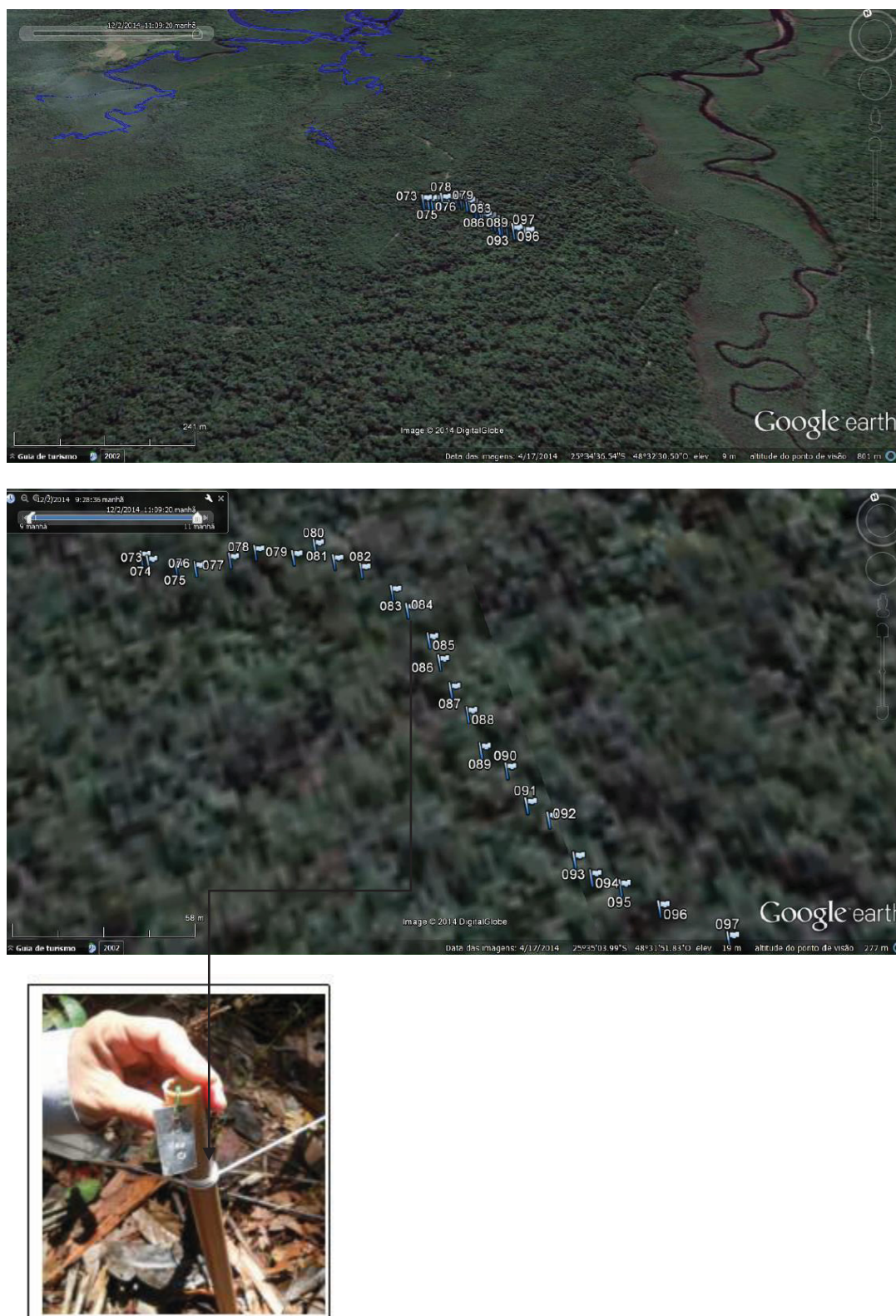
bem conservados e em diferentes estágios de regeneração florestal natural. Entre as espécies vegetais de porte significativo estão a Maçaranduba (*Manilkara subsericea*), o Guanandi (*Callophyllum brasiliense*), Figueiras (*Ficus spp*) e o Palmito-juçara (*Euterpe edulis*), além de diversas espécies de Orquídeas e Bromélias (IAP, 2017).

Localização e descrição da área experimental

O início do trabalho se deu com a abertura e marcação da parcela de estudo entre os meses de outubro e dezembro de 2014, seguindo o protocolo do Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio), onde 25 pontos, a cada 10 metros, foram marcados com piquetes de PVC, obedecendo a curva de nível do terreno (Figura 3), chegando assim a 250 metros de transecto, conforme a metodologia RAPELD (Rápida Análise em Pesquisa Ecológica de Longa Duração - Magnusson et. al., 2005). A marcação dos pontos foi realizada com auxílio de um clinômetro, para identificação da inclinação do terreno, a qual, na área de estudo, ocorre por causa dos cordões e intercordões que se formaram na restinga da planície litorânea devido à deposição de sedimento marinho durante o período de avanço e recuo do mar, ao longo dos diferentes eventos geológicos. A marcação inicial da parcela é feita somente com 1 linha central, esticada para unir os piquetes fixos no solo a cada 10 m. Ao longo do transecto foi definido e marcado um corredor de 1 m de largura, para o trânsito durante as coletas. A faixa da direita do corredor central foi definida como área de coleta, onde foram instalados os coletores de serapilheira e onde foram coletadas as amostras de solo; e a faixa da esquerda foi definida como zona sensível, onde não se coleta material, para eventuais estudos da vegetação.

As parcelas RAPELD não são quadradas ou retangulares como em geral se usa em inventários. Ao contrário, elas levam em consideração o fato de que o relevo é um determinante extremamente importante da composição da vegetação, e por isso seguem curvas de nível.

FIGURA 3. VISTA AÉREA DA ÁREA DE ESTUDO E TRAJETÓRIA DO TRANSECTO UNINDO OS PONTOS GEORREFERENCIADOS, MARCADOS A CADA 10 METROS NA PARCELA DE ESTUDO, NO PARQUE ESTADUAL DO PALMITO.



Fonte: Google Earth/Autor (2015)

A parcela foi traçada a partir de um ponto com altitude conhecida e esta altitude foi mantida constante ao longo da parcela, seguindo a curva de nível.

Na parcela foram instalados coletores de serapilheira depositada a cada cinquenta metros, conforme protocolo do projeto PPBio (Figura 4). Além dos coletores a serapilheira acumulada, os monólitos de solos e amostras de solo nas profundidades 0-5 e 5-10 cm também foram coletados próximos aos piquetes marcados a cada 50 metros. Desta forma, a cada 50 metros, foram coletadas amostras de solo e serapilheira, totalizando 5 amostras por parcela.

FIGURA 4. COLETOR CIRCULAR DE SERAPILHEIRA DEPOSITADA.



Fonte: Autor (2015).

4. REFERÊNCIAS

BARETTA, D.; BARETTA, C. R. D. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Análise multivariada de atributos microbiológicos e químicos do solo em florestas com *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, Número Especial 2683-2691 p. 2008.

CORRÊA, D. R. **Horizontes orgânicos sob Floresta Ombrófila Densa no litoral paranaense**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2007. 101 p.

CORREIA, M. E. F.; OLIVEIRA, L. C. M. **Importância da fauna de solo para a ciclagem de nutrientes**. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Ed.). Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável. Embrapa Agrobiologia. Brasília DF. 2005.

DICKOW, K. M. C.; MARQUES, R.; PINTO, C. B. Nutrient Ccomposition of mature and litter leaves and nutrient mobilization in leaves of tree species from secondary Rainforests in the South of Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v.52, n. 5. pp. 1099-1106, September-October 2009.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Ed. EMBRAPA, 2013.

GONZÁLEZ, G.; LEY, R. E.; SCHMIDT, S. K.; ZOU, X.; SEASTEDT, T. R. Soil ecological interactions: comparisons between tropical and subalpine forests. **Oecologia**. v. 128. 549-556 p. 2001.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. Disponível em: http://www.iap.pr.gov.br/modules/ucps/aviso.php?codigo=63&codigo_cat=0 Acesso em 30 mai. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2016.

IPARDES. **Zoneamento da Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba**. Curitiba: IPARDES, 150 p. 2001.

MAGNUSSON, W.E.; LIMA, A. P.; LUIZÃO, R.; LUIZÃO, F.; COSTA, F. R. C.; CASTILHO, C. V. C.; KINUPP, V. F. RAPELD: A modification of the gentry method for biodiversity surveys in long-term ecological research sites. **Biota Neotropica**. v. 5, n. 2. 2005.

MARQUES, M.C.M.; ZWIENER, V.P.; RAMOS, F.M.; BORGIO, M.; MARQUES, R. Forest structure and species composition along a successional gradient of Lowland Atlantic Forest in Southern Brazil. **Biota Neotropica**. v. 14, n. 3. 2014.

MARQUES, M.C.M.; SWAINE, M.D.; LIEBSCH, D. Diversity distribution and floristic differentiation of the coastal lowland vegetation: implications for the

conservation of the Brazilian Atlantic Forest. **Biodiversity and Conservation**. v. 20. 153-168. 2011.

PINTO, C.B.; MARQUES, R. Aporte de nutrientes por frações da serapilheira em sucessão ecológica de um ecossistema da Floresta Atlântica. **Floresta**. v. 33, n. 3, 2003.

PROTIL, C.Z. **Contribuição de quatro espécies arbóreas ao ciclo biogeoquímico em Floresta Atlântica na planície litorânea do Paraná**. Tese de doutorado - Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2006.

ROCHA, A. A. **Deposição de fitomassa e nutrientes, acumulação e decomposição de serapilheira em três tipologias da Floresta Atlântica, Paranaguá, PR**. Dissertação de mestrado - UFPR. 2006.

SCHWARZBACH, J. **Dinâmica química da solução do solo em três fases sucessionais da floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no litoral do Paraná**. Dissertação de mestrado em Ciência do Solo – Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2005.

SELLE, G.L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience Journal**. v. 23, n. 4. 29-39 p. 2007.

SISTEMA METEOROLÓGICO DO PARANÁ - SIMEPAR. Banco de dados meteorológicos do SIMEPAR. Disponível em: <<http://www.simepar.br/>> Acesso em 10 jan. 2017.

VANHONI, F.; MENDONÇA, F. O clima do litoral do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**. Agosto. 2008.

CAPÍTULO 2: APORTE, ACÚMULO E DECOMPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA DAS TERRAS BAIXAS, PARANAGUÁ, PR.

RESUMO

O estudo foi realizado no Parque Estadual do Palmito, no município de Paranaguá, na planície litorânea do Estado do Paraná. O trabalho teve como objetivo caracterizar a dinâmica de deposição, acúmulo e decomposição da serapilheira na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, bem como entender a relação entre os macronutrientes e os processos de decomposição da serapilheira acumulada. A serapilheira depositada foi coletada em cinco pontos distintos, a cada 50 metros, ao longo de um transecto de 250 metros. Foi fracionada em folhas totais (FT), ramos finos (RF), órgãos reprodutivos flores, frutos e sementes (FFS) e material fino não identificável - miscelânea (M). As coletas foram realizadas mensalmente, entre abril de 2015 e abril de 2016. A serapilheira acumulada foi coletada ao final de cada estação do ano entre abril de 2015 e março de 2016; e separada nas frações folhas recém depositadas (FR), folhas em decomposição (FD), ramos finos (RF), flores, frutos e sementes (FFS), raízes (R) e a fração peneira (P). E foram determinados os teores de carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas diferentes frações da serapilheira. Os resultados mostraram a deposição das frações da serapilheira na seguinte ordem decrescente: Folhas > Ramos Finos > Miscelânea > FFS, em todas as estações do ano. E o maior aporte anual de folhas foi no verão seguido da primavera. A serapilheira acumulada foi maior no período de menor decomposição, relacionando-se com menores temperaturas médias e precipitação (outono e inverno). E as menores taxas de acumulação foram na primavera e verão que foram períodos com maiores taxas de decomposição, maiores temperaturas médias e precipitação. A ordem decrescente de concentração dos macronutrientes foi C>N>Ca>Mg>K>P, em todas as estações do ano e em praticamente todas as frações da serapilheira.

PALAVRAS-CHAVE: Floresta Atlântica; Ciclagem biogeoquímica; Nutrientes.

ABSTRACT

The study was carried out in the Palmito Forest State Park in Paranaguá city on the coastal plain of the Paraná state. The aim this study was to characterize the dynamics of deposition, accumulation and decomposition of the litter in the Atlantic Rainforest in the Lowland on the coast of Paraná, as well as to understand the relationship between the macronutrients and the processes of decomposition of litter accumulated. The deposited litter was collected in five distinct points every 50 meters along a 250 meter transect, fractionated in total leaves (FT), fine branches (RF), reproductive organs flowers, fruits and seeds (FFS) and non-fine material Identifiable, miscellaneous (M). The collected data were monthly from April 2015 to April 2016. The accumulated litter was collected at the end of each season between April 2015 and March 2016 in the newly deposited leaves (FR), decaying leaves (FD), fine branches <2cm in

diameter (RF), reproductive organs such as flowers, fruits and seeds (FFS), roots (R) and sieve fraction (P). The phosphorus, potassium, calcium and magnesium macronutrients were analyzed in the ICP equipment (Varian 720 - ES) and nitrogen, carbon and C/N ratio in CNHS Vario el analyzer in the different fractions of the litter. The results showed that the most deposited litter fractions were Leaves > Fine Branches > Miscellaneous > FFS in all seasons of the year. Highest annual contribution of leaves was in the summer followed by spring and the lowest deposition in the fall and winter. The accumulated litter was higher in the period of lower decomposition k, related to lower average temperatures and precipitation, which was autumn and winter. And the lowest accumulation rates were in the spring and summer which are periods with higher rates of decomposition and higher average temperatures and precipitation. The rates were of higher and higher summer rate than the average and accumulated. The decreasing order of macronutrient concentration was > N > Ca > Mg > K > P, at all seasons of the year and in all litter fractions.

KEYWORDS: Brazilian Atlantic Forest; Biogeochemical cycling; Nutrients.

1. INTRODUÇÃO

Na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, situada sobre a restinga na planície litorânea paranaense, o solo é arenoso com baixa reserva e capacidade de retenção de nutrientes, sendo que a ciclagem biogeoquímica, via aporte/decomposição da serapilheira, se constitui como a principal fonte de elementos nutritivos à vegetação florestal (Britez, 1997; Pinto e Marques, 2003). Mas a própria atmosfera pode ser uma fonte importante de nutrientes (Souza et al., 2008), assim como outros processos ainda não estudados podem ser incluídos entre aqueles responsáveis pela disponibilização dos nutrientes às plantas. Estudos sobre os processos de ciclagem de nutrientes envolvendo deposição, acúmulo, decomposição da serapilheira e sua consequente mineralização são muito importantes para se conhecer melhor a estrutura e o funcionamento biogeoquímico destes ecossistemas.

Alguns trabalhos têm mostrado relação entre a deposição, acúmulo e decomposição da serapilheira na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas com a sazonalidade climática e com a qualidade do material que se deposita e se acumula no piso florestal (Pires et al., 2006; Paula et al., 2009); e estas relações determinam a oferta de nutrientes nas florestas de restinga. A quantidade de elementos minerais que chega ao piso florestal, via precipitação interna é bem menor do que aquela que chega via deposição de serapilheira, e

deve ser levada em consideração, pois constitui-se na principal fonte “externa” de entrada de nutrientes nas florestas, e adquire importância ainda maior em florestas sobre solos com baixa reserva mineral, como é o caso da área de estudo (Protil, 2006). Apesar da existência destes trabalhos evidenciando a importância da ciclagem biogeoquímica, na disponibilização dos nutrientes neste ecossistema, mais estudos são necessários para comprovar os resultados já obtidos e eventualmente trazer novas informações sobre a dinâmica dos nutrientes nestas florestas.

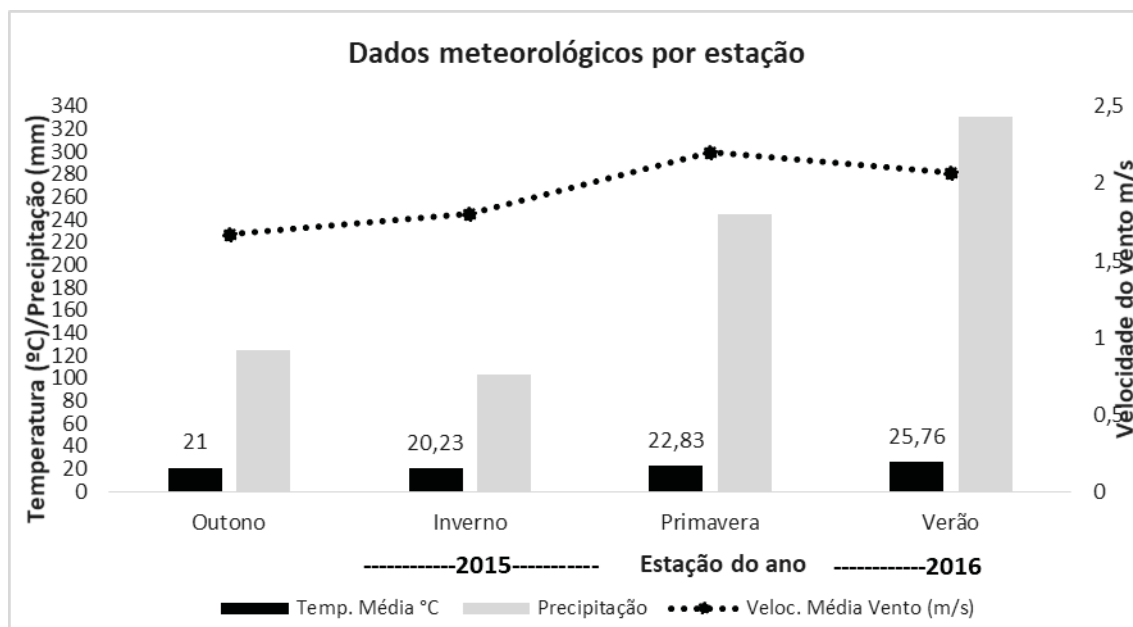
Sendo assim, este trabalho teve como objetivo caracterizar a dinâmica de deposição, acúmulo e decomposição da serapilheira na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, no litoral do Paraná, bem como entender a relação entre os macronutrientes com os processos de decomposição da serapilheira acumulada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Localização e características climáticas da área de estudo

O estudo foi realizado no Parque Estadual do Palmito, unidade de conservação administrada pela Secretaria de Meio Ambiente (SEMA) do Estado do Paraná, no período entre abril de 2015 e abril de 2016. Esta Unidade de Conservação está situada no município de Paranaguá, na planície litorânea do estado do Paraná, latitude 48°31'S e longitude 24°34'W, com altitude variável entre 5 e 12 metros em relação ao nível do mar, conforme descrito no capítulo 1.

FIGURA 1. VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NAS QUATRO ESTAÇÕES ENTRE OS ANOS DE 2015 E 2016, CORRESPONDENTE AO PERÍODO DE ESTUDO, COM INFORMAÇÕES SOBRE TEMPERATURA MÉDIA, PRECIPITAÇÃO ACUMULADA POR PERÍODO E VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO.



Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET (2016) E SIMEPAR (2016).

Coleta e fracionamento de serapilheira

As coletas de serapilheira depositada foram realizadas mensalmente entre abril de 2015 a março de 2016, em cinco pontos distintos, a cada 50 metros ao longo de um transecto de 250 metros, em coletores circulares de 60 cm de diâmetro, dispostos 40 cm acima do solo. Após a coleta, a serapilheira foi secada em estufa de circulação à temperatura de 65°C. Depois disso, o material era dividido nas diferentes frações: folhas totais depositadas (FT), ramos finos, < 2cm de diâmetro (RF), órgãos reprodutivos como flores, frutos e sementes (FFS) e material fino não identificável, denominado como miscelânea (M), que foi tamisado em peneira de malha de 4mm. A massa seca foi obtida, por pesagem, para cada fração isoladamente.

A serapilheira acumulada foi coletada ao final de cada estação do ano entre abril de 2015 e março de 2016. As coletas foram feitas com um gabarito de 0,25 x 0,25 m, o qual era disposto sobre o solo em posição aleatória, sempre próximo aos coletores de serapilheira depositada, totalizando cinco

pontos de coleta, por estação do ano. Após coleta, o material era secado em estufa de circulação forçada, a 65°C. Depois da secagem, a serapilheira acumulada foi separada nas frações: folhas recém depositadas (FR), folhas em decomposição (FD), ramos finos, < 2cm de diâmetro (RF), órgãos reprodutivos como flores, frutos e sementes (FFS), raízes (R) e a fração peneira (P), composta de fragmentos finos que foram tamisados em peneira com malha de 4 mm; e, em seguida, o material era pesado em balança analítica.

Análise química da serapilheira

Os macronutrientes analisados, nas diferentes frações da serapilheira, foram carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além da relação C/N. Para estas análises químicas, as amostras das diferentes frações da serapilheira acumulada foram previamente moídas em moinho tipo Willey.

Para as análises de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, a digestão das amostras foi via seca, conforme Martins e Reissmann (2007), onde foram pesados 1 g do material moído em cadinho de porcelana; posteriormente as amostras foram incineradas em mufla a 500°C por 3 horas, resfriadas e novamente queimadas por mais 3 horas a 500°C, com adição de 3 gotas de HCl 3 mol/L. Após a segunda queima, as amostras foram novamente resfriadas e adicionou-se 10 ml de HCl 3 mol/L, sendo os cadinhos, então, aquecidos em chapa aquecedora à temperatura entre 70-80°C, por 10 minutos, para promover a solubilização das amostras. Depois disso, as amostras foram resfriadas e filtradas com filtro quantitativo faixa preta para balão volumétrico de 100 ml. Depois da filtragem, os balões de 100 ml foram completados com água deionizada e a solução homogeneizada e transferida para frascos plásticos. Ao final, a solução/extrato apresentou uma concentração ácida entre 0,2 a 0,3 mol/L. A solução/extrato foi submetida à leitura em equipamento ICP (Optical Emission Spectrometer) marca Varian modelo 720 - ES para leitura dos macronutrientes cálcio, potássio, magnésio e fósforo.

Para análise do carbono, nitrogênio e relação C:N, as amostras foram moídas pela segunda vez em moinho de bola FRITSCH e posteriormente tamizadas em peneiras de 0,25 mm ou 50 mesh. Depois disso, foram pesados 20 mg de cada amostra em cápsulas de estanho. Para a determinação

analítica, as amostras embaladas foram submetidas à combustão no equipamento analisador CHNOS, Vario El III, da marca Elementar.

Cálculo da taxa de decomposição, tempo médio de renovação e tempo de meia vida da serapilheira

A taxa de decomposição foi obtida pelo método indireto, usando a relação entre o aporte e o estoque de serapilheira no solo, onde a taxa de decomposição do material é estimada, segundo Olson (1963), pela equação:

$$k = L/X_{ss}$$

k = constante de decomposição da serapilheira

L = Quantidade de serapilheira depositada em um intervalo de tempo (kg/ha/ano)

X_{ss} = Quantidade de serapilheira acumulada sobre o solo em um intervalo de tempo (kg/há⁻¹/ano⁻¹)

O tempo médio de renovação da serapilheira foi calculado a partir da constante k de decomposição, utilizando a equação de Hopkins (1966), expressa em meses, conforme utilizado por Pires et al. (2006):

$$tr = 1/K$$

tr = tempo de renovação

k = constante de decomposição

O tempo de meia vida para o desaparecimento de 50 e 95% da serapilheira, foi determinado segundo o modelo proposto por Shanks e Olson (1961), descrito por Scoriza et. al. (2012):

$$T_{0,5} = 0,693/K$$

$$T_{0,05} = 3/K$$

Análises estatísticas

As análises estatísticas foram paramétricas e não paramétricas. Para testar a variância da deposição/acumulação estacional e por diferentes frações

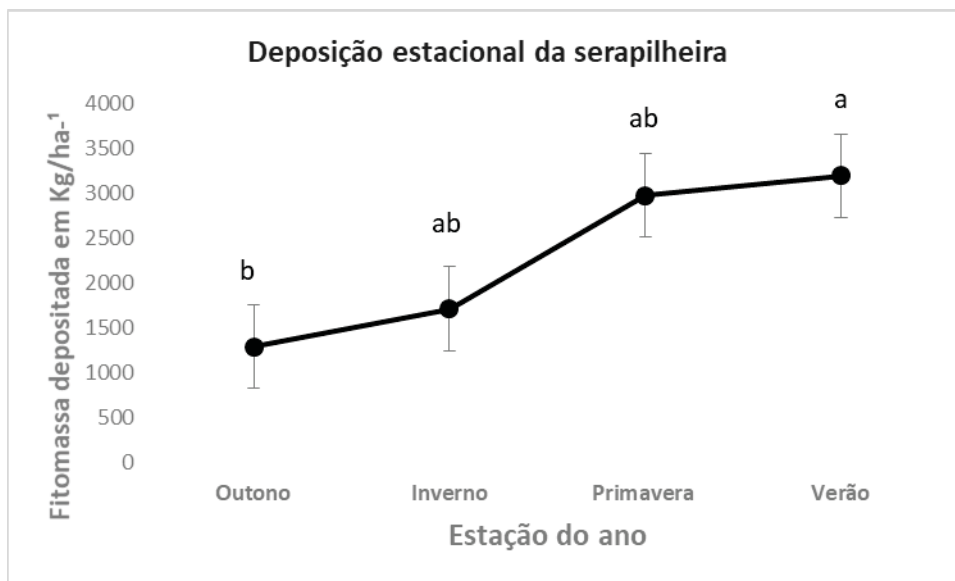
das serapilheiras depositada e acumulada, foi feita análise de variância (ANOVA), com testes de Duncan a 5% e 10% ($p < 0,05$ e $p < 0,10$) e ANOVA com dois fatores para macronutrientes da serapilheira acumulada (Frações da serapilheira nas estações do ano). Para entender a correlação entre as variáveis meteorológicas e a deposição das diferentes frações da serapilheira nas diferentes estações, utilizou-se a análise de redundância (RDA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serapilheira Depositada

O total de serapilheira depositada foi de $9162 \text{ kg.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, com uma média estacional de 2290 kg.ha^{-1} . A estação onde ocorreu a maior deposição foi o verão com 3190 kg.ha^{-1} , seguido da primavera com 2974 kg.ha^{-1} , do inverno com 1708 Kg.ha^{-1} , e do outono com 1289 kg.ha^{-1} (Fig. 2). O aporte de serapilheira foi superior aos valores encontrados por Pinto e Marques (2003) e por Rocha (2006) na mesma área de estudo. E também superior ao observado por Pires et. al. (2006) e Martins (2004), em Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas na restinga da Ilha do Mel, PR; por Pereira et al. (2012), em restinga sobre Neossolo Quartzarênico; por Bianchin et al. (2016), em Floresta Ombrófila Densa Submontana; e por Gomes et al. (2010), em Floresta Ombrófila Densa Montana. Mas menores aos encontrados por Paula et al. (2009) em três tipos de vegetação de restinga periodicamente inundada, que compõem a Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas. Nestes trabalhos acima citados, obervou-se também as maiores deposições de serapilheira nos meses de verão e primavera, meses mais quentes e de maior precipitação.

FIGURA 2. DEPOSIÇÃO ESTACIONAL DA SERAPILHEIRA COM COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO TESTE DE DUNCAN ($P < 0,05$).

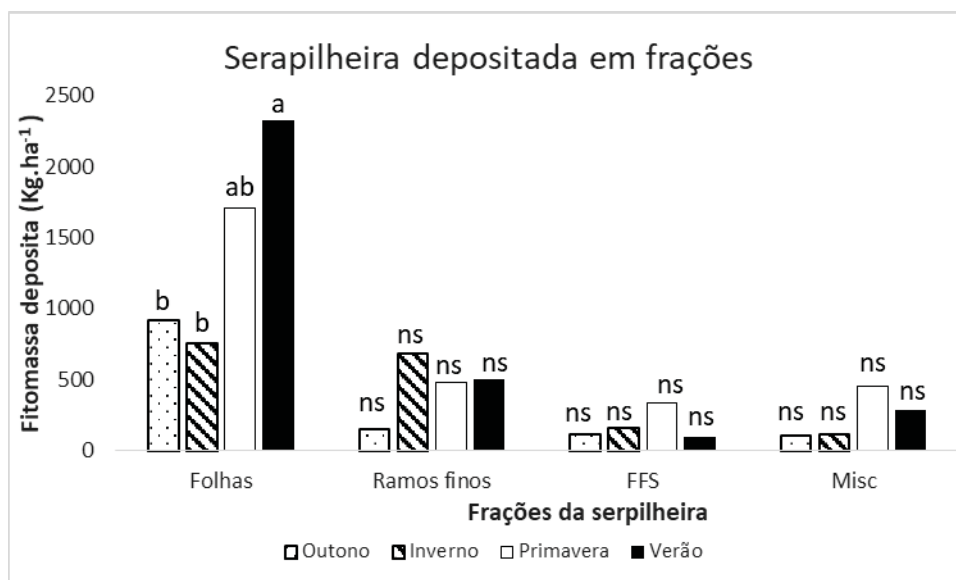


Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente a 5% de significância.

A ordem decrescente de contribuição para as frações de serapilheira foi: $F > RF > M > FFS$ em todas as estações do ano, com exceção do outono e inverno que tiveram mais FFS do que miscelânea conforme observado na figura 3. A maior contribuição da fração Folhas foi também observada por Pereira et al. (2008); Paula et al. (2009); Gomes et al. (2010) e Bianchin (2016). O verão foi a estação onde observou-se maior aporte anual de folhas com 2318 kg.ha^{-1} , seguido da primavera que apresentou a segunda maior deposição de folhas com 1703 kg.ha^{-1} . O inverno e o outono foram as estações que apresentaram as menores deposições de folhas com 758 kg.ha^{-1} e 912 kg.ha^{-1} . Por outro lado, observou-se que no inverno houve a maior deposição de RF em comparação com as outras estações. A fração FFS foi maior na primavera (335 kg.ha^{-1}) e o verão foi a estação com menor deposição com $91,8 \text{ kg.ha}^{-1}$, embora a diferença não seja considerada significativa. Em relação à fração miscelânea (M), maiores deposições ocorreram na primavera e no verão (452 kg.ha^{-1} e 282 kg.ha^{-1}); e as menores no outono e inverno (108 kg.ha^{-1} e 110 kg.ha^{-1}) embora não tenha sido possível observar diferença significativa. De maneira geral, as frações FFS e M foram as que menos contribuíram com o aporte total de serapilheira durante o ano. Comportamento semelhante na

mesma área de estudo foi observado por Rocha (2006); e por Pires et al. (2006), em restinga na Ilha do Mel (PR), com a seguinte sequência: $F > RF > FFS > M$. Na restinga em Marambaia, Pereira et. al. (2012) também observaram maior contribuição da fração folhas. Paula et. al. (2009) observaram comportamento semelhante em restinga periodicamente inundada, com a seguinte ordem de contribuição: Folhas 64% - 71% > Galhos finos 18% - 22% > material reprodutivo (FFS) 3% - 10% > miscelânea 3%. Bianchin et al. (2016) também encontraram maior deposição de folhas, seguida de galhos finos, órgãos reprodutivos e miscelânea em Floresta Ombrófila Densa Submontana. No geral, as folhas são responsáveis por aproximadamente 70% ou mais; os galhos por até 10%; órgãos reprodutivos por até 10% e a fração miscelânea por aproximadamente 10% em Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (Pires et al., 2006; Paula et al., 2009 e Pereira et al., 2012). Assim, este estudo corrobora com os resultados anteriores na mesma tipologia florestal.

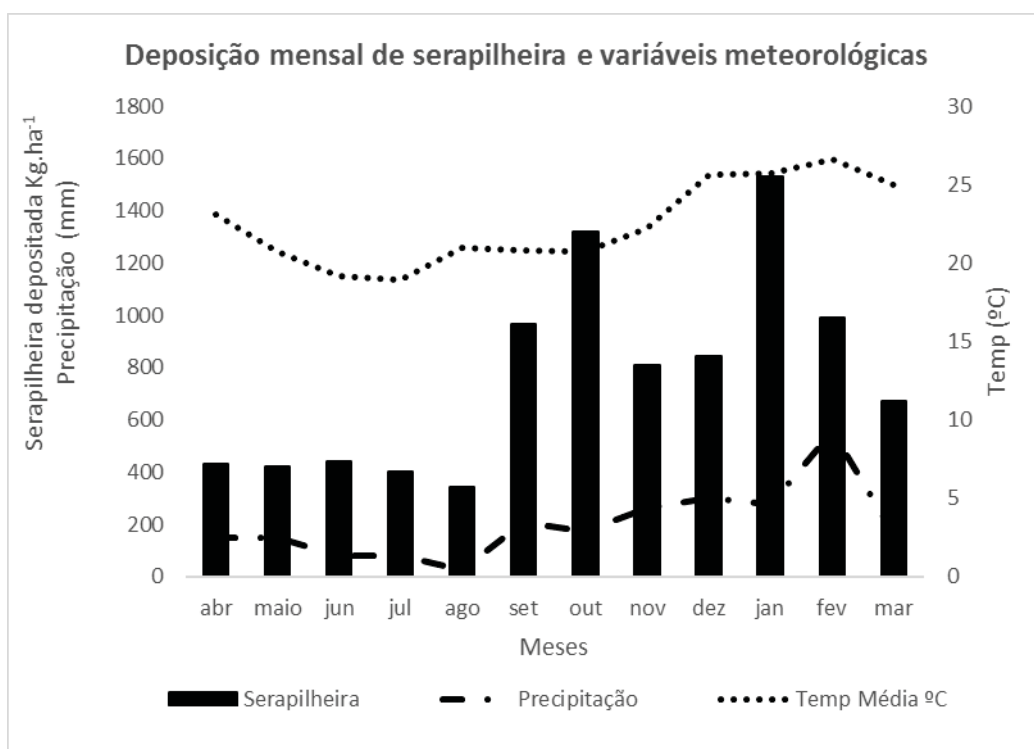
FIGURA 3. FITOMASSA MÉDIA DEPOSITADA PELAS FRAÇÕES FOLHAS, RAMOS FINOS, FLORES, FRUTOS E SEMENTES (FFS) E MISCELÂNEA. TESTE DE DUNCAN A 5% ($P < 0,05$).



A deposição de serapilheira mostrou uma relação direta com as variáveis meteorológicas precipitação e temperatura média. Os meses que

mais contribuíram para a deposição foram os meses entre setembro e março, meses com os valores mais elevados de precipitação e temperatura média. E as menores deposições coincidem com os meses entre abril e agosto, com temperaturas mais baixas e menor precipitação. Esses resultados corroboram com Pinto e Marques (2003); Martins (2003); Pires et al. (2006) e Paula et al. (2009).

FIGURA 4. RELAÇÃO ENTRE A DEPOSIÇÃO MENSAL DA SERAPILHEIRA E AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS PRECIPITAÇÃO (mm) E TEMPERATURA MÉDIA (°C) NO PERÍODO DE ABRIL DE 2015 A MARÇO DE 2016.



A relação entre as diferentes frações da serapilheira e as variáveis meteorológicas foi caracterizada por uma análise multivariada (Análise de Redundância - RDA). Com esta análise foi possível perceber que apenas o primeiro eixo foi significativo, onde a matriz de dados meteorológicos com a matriz de deposição apresentou 40.6% de variância explicada pelo autovalor 1.22. Com esta análise foi possível explicar de forma complementar ao que foi observado na análise univariada onde mostrou a maior deposição de folhas no

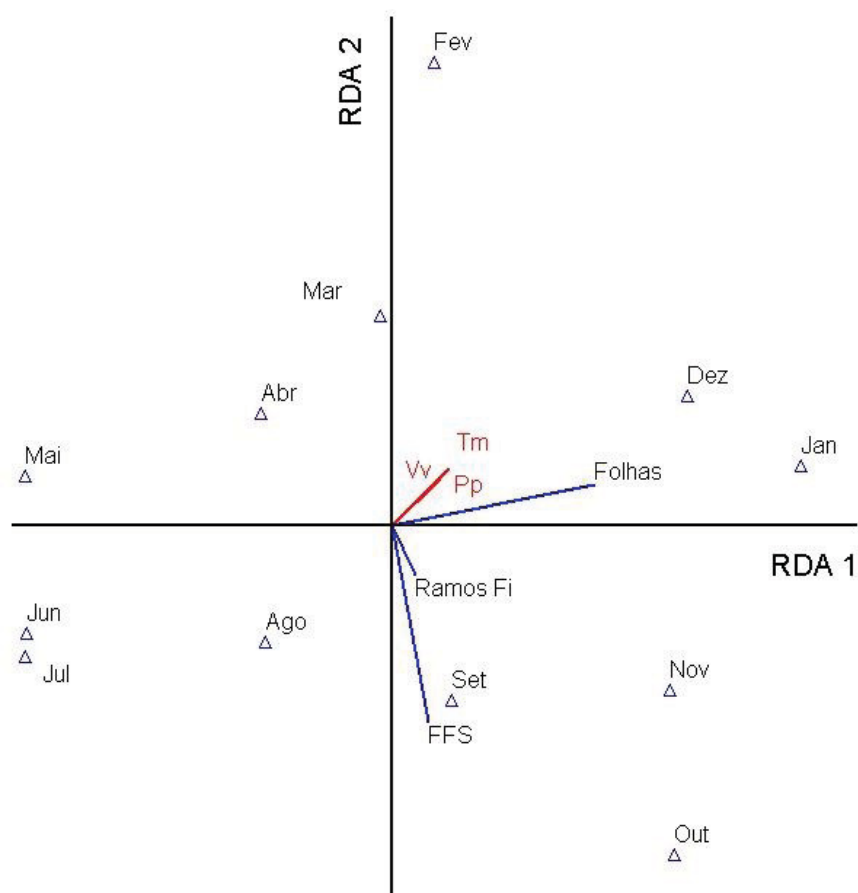
verão, período de maior precipitação (mm) e temperatura média °C), seguindo um padrão de correlação

TABELA 01. ANÁLISE DE REDUNDÂNCIA (RDA) ENTRE A MATRIZ DE DEPOSIÇÃO DAS FRAÇÕES DE SERAPILHEIRA PRODUZIDA E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA DAS TERRAS BAIXAS.

Informações/ Eixos da RDA	RDA 1	RDA 2
Autovalor	1.22*	0.21
% de variância explicada	40.6	6.9
Correlação de Pearson	0.74*	0.64

* significativo pelo teste de permutação de Monte Carlo (999 permutações equivalente a $p < 0,01$).

FIGURA 5. ANÁLISE DE REDUNDÂNCIA (RDA) MOSTRANDO A CORRELAÇÃO ENTRE A DEPOSIÇÃO MENSAL DA SERAPILHEIRA (Kg/ha^{-1}) E AS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS PRECIPITAÇÃO PP (mm), VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO VV (m/s) E TEMPERATURA MÉDIA TM (°C).



Observa-se que a maior deposição de folhas (F) se relaciona com os meses de dezembro, janeiro e fevereiro; e que há correlação com a precipitação (mm), temperatura média (°C) e velocidade do vento (m/s) que foram maiores no período. A fração flores, frutos e sementes (FFS) tiveram maior deposição na primavera período de precipitação e temperatura média um pouco menores em relação ao verão (Fig. 5).

Serapilheira acumulada

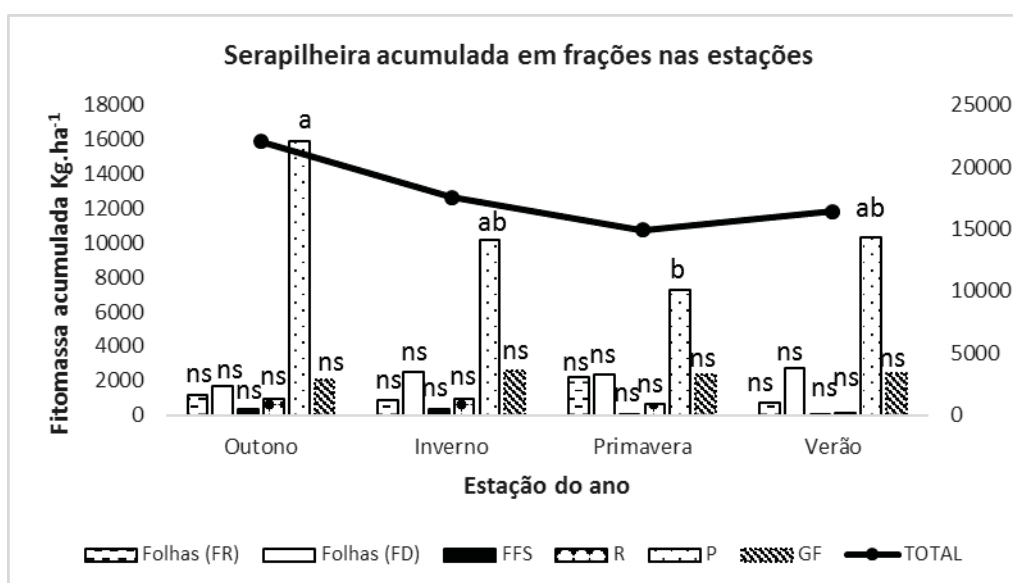
A acumulação anual da serapilheira foi de 70.926 kg.ha⁻¹, com maior acumulação no outono (22.024 kg.ha⁻¹), seguida do inverno (17.568 kg.ha⁻¹). E a estação com mais baixo acúmulo foi a primavera (14.924 kg.ha⁻¹), seguida do verão com 16.410 kg.ha⁻¹ (Fig. 6). Os maiores valores ocorreram nos períodos de menores temperaturas médias e precipitação (outono e o inverno); e os menores acúmulos na primavera e verão que são períodos com maiores temperaturas médias e precipitação. A serapilheira acumulada anualmente foi muito superior ao observado por Martins (2004) e Pires et. al. (2006), que não identificaram diferenças entre as estações do ano. Estes autores também fizeram suas pesquisas em áreas de restinga, mas estas se situavam em diferentes condições de drenagem do solo e exposição solar; e a vegetação também era diferente quanto ao porte e composição florística, o que pode explicar os diferentes comportamentos quanto à acumulação de serapilheira. Rocha (2006), por sua vez, no mesmo Parque Estadual do Palmito, encontrou maior estoque acumulado no inverno e menor na primavera, resultados mais próximos do observado neste estudo.

A fração de serapilheira acumulada que determinou as diferenças entre as estações foi a fração peneira (P), que foi a única que apresentou diferença significativa pelo teste de Duncan (Fig. 6), acumulando 15.869 kg.ha⁻¹ no outono e 7.256 kg.ha⁻¹ na primavera. As demais frações não apresentaram diferença significativa quando comparadas entre as diferentes estações. A segunda fração que mais acumulou na serapilheira, em todas as estações, foi ramos finos (RF), seguida da fração folhas em decomposição (FD), da fração folhas recém depositadas (FR) e das frações flores, frutos e sementes (FFS) e

raízes (R). O maior estoque da fração peneira (P), em relação às outras frações da serapilheira, corrobora com Rocha (2006) que encontrou comportamento semelhante em fases média e avançada de regeneração florestal na mesma área de estudo. Pires et al. (2006) embora não tenham fracionado a serapilheira na fração mais fina, que é a peneira (P), encontraram maior porcentagem de fração foliar do que lenhosa.

O estoque de serapilheira acumulada no solo tem relação direta com fatores climáticos como a precipitação e a temperatura média; com a qualidade da serapilheira (resultante das espécies vegetais presentes na floresta); e com as características físicas, químicas e biológicas dos solos, direcionando a taxa de decomposição a decomposição nas diferentes estações do ano, conforme observado por Cunha Neto et. al. (2013) e Valentini et al. (2014). O maior estoque da fração peneira (P) ocorreu no outono, estação subsequente à primavera e verão, quando as maiores deposições de folhas ocorrem (Fig. 2 e 3). Isto, em parte pode ser explicado pela ação dos organismos decompositores detritívoros (com maior ocorrência durante o verão – ver Cap.3), tendo como consequência o acúmulo de material fragmentado - fração peneira (P) nesta estação.

FIGURA 6. SERAPILHEIRA ACUMULADA TOTAL EM (Kg/ha^{-1}) E NAS FRAÇÕES FOLHAS RECÉM DEPOSITADAS (FR), FOLHAS EM DECOMPOSIÇÃO (FD), FLORES, FRUTOS E SEMENTES (FFS), RAIZ (R), FRAÇÃO PENEIRA (P) E GALHOS OU RAMOS FINOS (RF). COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PELO TESTE DE DUNCAN ($P < 0,05$).



Decomposição da serapilheira

A taxa de decomposição anual foi de 0,54 e comparando as estações foi possível perceber que a maior taxa de decomposição ocorreu na primavera e no verão, que são as estações mais chuvosas e com maiores temperaturas médias, com valores da constante (k) 0,19. E as menores taxas de decomposição ocorreram no outono e no inverno, que são as estações mais secas e com menores temperaturas médias, com valores de constante (k) 0,05 e 0,09 respectivamente. O tempo médio de renovação da serapilheira foi de 9,45 meses e o menor tempo médio de renovação da serapilheira estimado foi na primavera e no verão com valores (T_r) 5,0 e 5,1 e o maior tempo médio de renovação foi no outono e no inverno com 17,2 e 10,3 para os valores (T_r). O tempo médio de renovação está inversamente relacionado com as taxas de decomposição e indicam que quanto maior a taxa de decomposição menor é o tempo médio para renovação do material que é depositado no piso florestal.

Quanto ao tempo de meia vida da serapilheira para renovação de 50% do material ($T_{(0,5)}$) os maiores valores foram para o outono e inverno com 11,9 e 7,1 meses e os menores na primavera e no verão com 0,13 e 3,5. E o tempo de meia vida da serapilheira para renovação de 95% ($T_{(0,05)}$) também foram mais alto no outono e no inverno com 51,6 e 31,09 meses, e os menores tempos são estimados para a primavera e verão com valores de 15,1 e 15,5 respectivamente.

O valor médio de decomposição anual foi menor do que o observado por Rocha (2006) na mesma área de estudo em estágio avançado de restauração, embora tenha utilizado a mesma metodologia para determinar a decomposição k . Mas isto pode estar associado a condição climática, visto que em solos de restinga as limitações hídricas e de temperatura, mesmo que pouco distinta, pode alterar as taxas de decomposição. Pires et al. (2006) em restinga na Ilha do Mel PR com ensaios de decomposição de fração foliar e lenhosa por litter bags, obteve maior tempo de decomposição e tempo de renovação da serapilheira. E apresentou valor similar ao observado por Martins (2004) em Ombrófila Densa das Terras Baixas, na Ilha do Mel, PR. O processo de decomposição da serapilheira é influenciado não apenas pela qualidade do

material depositado e pela diferença de metodologia, mas também pela qualidade do microambiente florestal Silva et al. (2014). Estes dois trabalhos foram desenvolvidos com a mesma metodologia para determinar a decomposição, mas os dois solos de restinga onde os trabalhos foram desenvolvidos tem características edáficas distintas Britez et al. (1997). Sendo assim a qualidade do material depositado e as características edáficas influenciam nas taxas de decomposição.

Paula et. al. (2009) observaram baixos valores de k para decomposição foliar utilizando litterbags na restinga em Marambaia RJ. Pereira et al. (2012) também observaram baixos valores de taxa de decomposição e tempo médio de renovação da serapilheira de 462 dias em restinga periodicamente inundada em Marambaia RJ. E nesta metodologia os ensaios são feitos isolando material depositado em bolsas de nylon individualizando as espécies, e este fato mostra taxas de decomposição relativas a espécie isolada e não de todo o conjunto de espécies que contribuem com o aporte e acúmulo de serapilheira. Capellesso et al. (2016) sugerem que o processo de decomposição está associado a diferente composição do material depositado por diferentes espécies que contribuem com o aporte de fitomassa em ecossistemas subtropicais, então, as constantes de decomposição que são variáveis em sazonalidade podem estar associadas ao efeito do material depositado por exemplares de diferentes famílias. Então, a maior velocidade de decomposição pode estar associado a qualidade do material depositado. Giesselmann et al. (2010) sugerem que a decomposição da serapilheira tem relação direta com as espécies vegetais que compõe a Mata Atlântica e os macroinvertebrados envolvidos na decomposição de forma idiossincrática. Além disso, os resultados diferentes das taxas de decomposição nos trabalhos citados foram obtidos por meio de duas diferentes metodologias, ensaios com litter bags, onde as espécies são isoladas em bolsas de nylon e as constantes de decomposição por método indireto considerando a diferença entre serapilheira aportada e acumulada SHANKS & OLSON (1961), descrito por Scoriza et. al. (2012). Além disso a decomposição também pode estar associado ao efeito dos decompositores da serapilheira que desenvolvem suas atividades na interface solo-serapilheira Pereira et al. (2013). Barantal et al. (2014) encontraram correlação entre o efeito da

diversidade da serapilheira e proporção estequiométrica entre C:N:P com a macrofauna edáfica, e concluíram que estes fatores associados aumentam muito a velocidade de decomposição do material.

Tabela 2. Resultados da constante de decomposição (k), tempo médio de renovação da serapilheira (Tr) em meses, tempo de meia vida de 50% da serapilheira T(0,5) e de 95% da serapilheira T(0,05) anual e em diferentes estações.

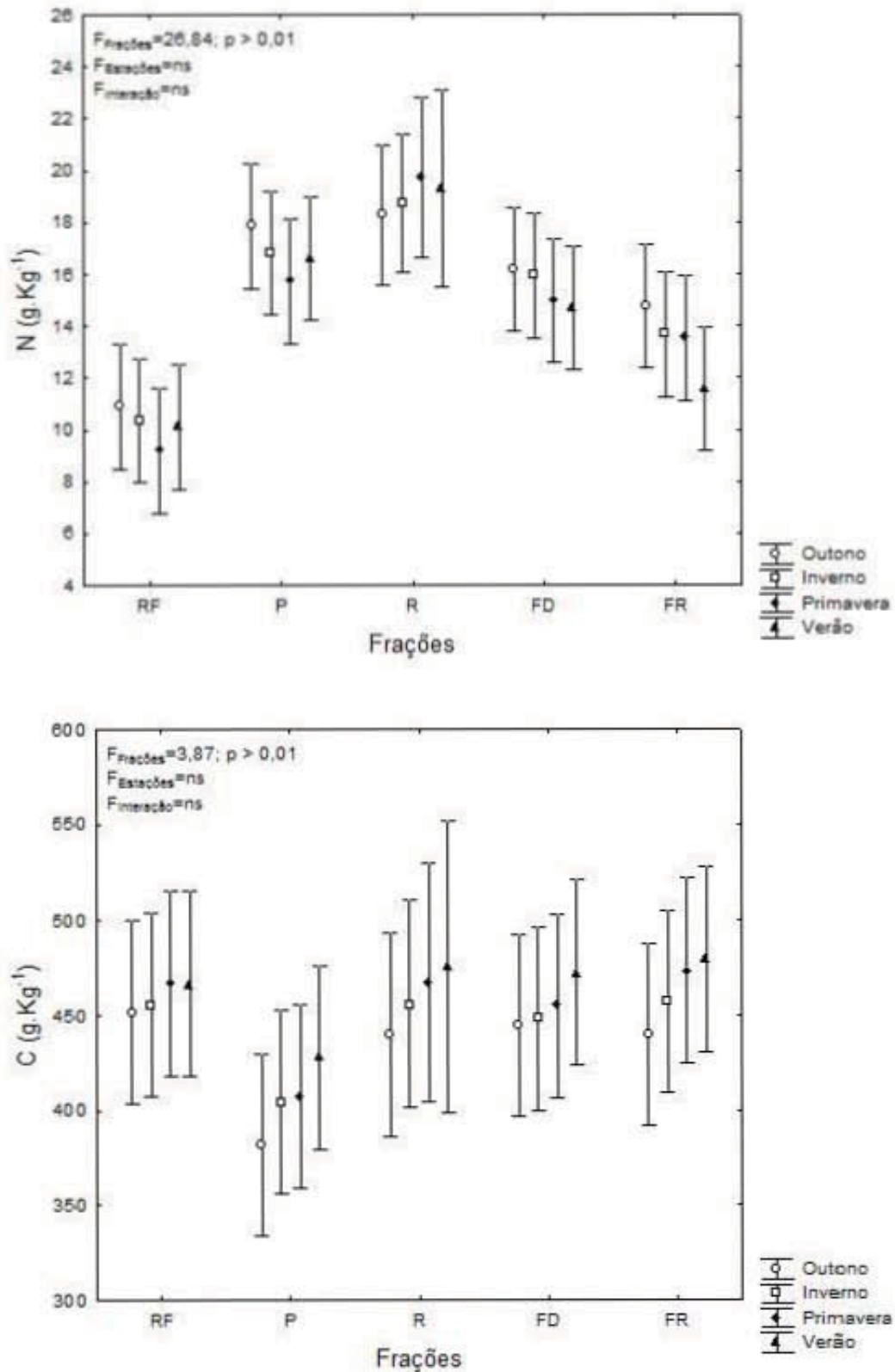
	<i>Outono</i>	<i>Inverno</i>	<i>Primavera</i>	<i>Verão</i>	Total anual
k	0,058	0,096	0,197	0,192	0,54
Tr (tempo renovação)	17,22	10,36	5,05	5,18	9,45
T_(0,5)	11,93	7,18	0,13	3,59	22,8
T_(0,05)	51,66	31,09	15,17	15,55	112,5

Nota: O tempo médio de renovação (Tr), o tempo de meia vida 50% (T 0,5) e tempo médio de meia vida 95% (T 0,05) foi calculado em meses.

Macronutrientes na serapilheira acumulada

De maneira geral, a ordem decrescente de concentração dos macronutrientes foi C>N>Ca>Mg>K>P (Fig. 7 a 12). Pinto et al. (2003), Rocha (2006) e Dickow et al. (2009), em seus trabalhos, na mesma área de estudo, também encontraram sequência similar de concentração de macronutrientes em folhas que compõem a serapilheira. Scheer (2008), em um trecho de Floresta Ombrófila Densa Aluvial, observou a seguinte sequência N>Ca>Mg>K>P. Caldeira et al. (2008) também observaram conteúdo total de macronutrientes na serapilheira acumulada em ordem decrescente Ca>Mg>K>P. Gomes et al. (2010) observaram maiores aportes de Ca, K, Mg e P em fragmentos de Floresta Ombrófila Densa.

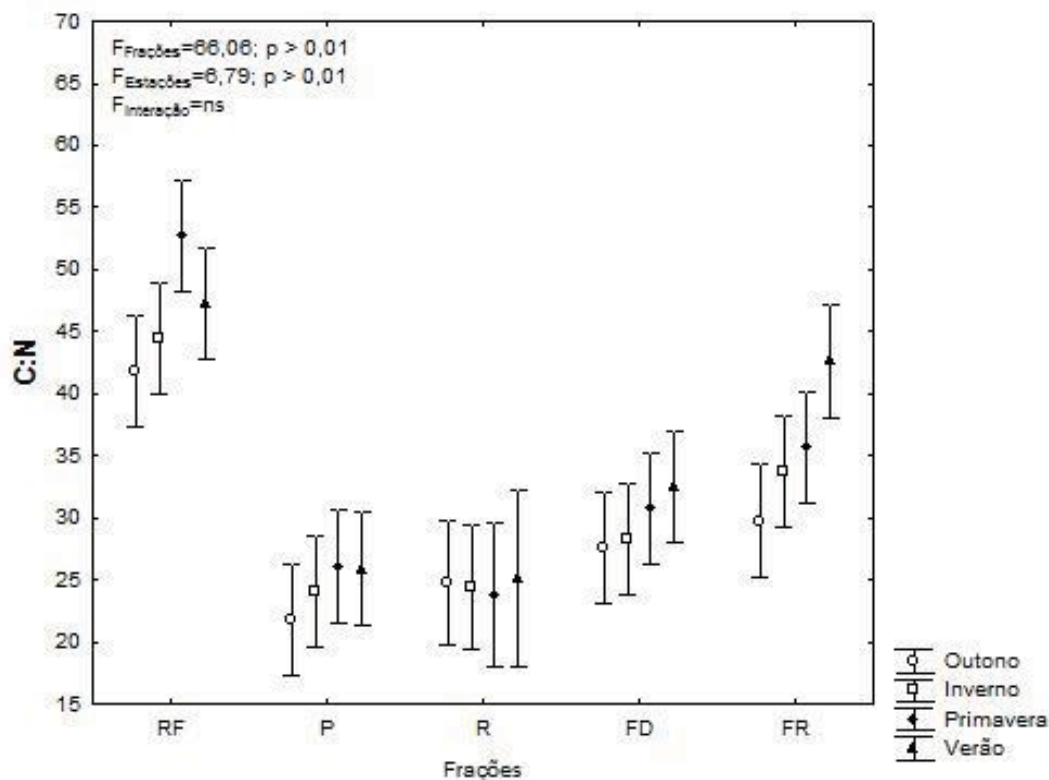
FIGURA 7. TEORES DE NITROGÊNIO E CARBONO NAS FRAÇÕES FOLHAS RECÉM DEPOSITADAS (FR), FOLHAS EM DECOMPOSIÇÃO (FD), FLORES, FRUTOS E SEMENTES (FFS), RAIZ (R), FRAÇÃO PENEIRA (P) E RAMOS FINOS (RF) NAS DIFERENTES ESTAÇÕES ENTRE OS ANOS DE 2015 E 2016.



Os teores de C e N variaram mais entre as frações da serapilheira do que entre as estações do ano (Fig. 7). Para carbono, as diferenças entre as frações não foram tão grandes, sendo os valores mais elevados observados para as frações folhas recém depositadas (FR), folhas em decomposição (FD), ramos finos (RF) e raízes (R); e as menores concentrações observadas na fração peneira (P). Dickow (2010) e Bianchin et al. (2016) observaram comportamento semelhante em Floresta Ombrófila Densa Submontana (FODS). Para o N, as diferenças entre as frações foram mais expressivas. As frações R e P apresentaram as maiores concentrações de N e a fração RF apresentou a menor concentração, enquanto as frações FR e FD apresentaram concentrações intermediárias. Teores mais baixos de N, na fração lenhosa (ramos finos - RF) também foram observados por Silveira (2015) mas não identificado por Dickow (2010).

Quanto à relação C:N, os maiores valores foram observados na fração RF, como decorrência dos menores teores de N nesta fração. Os mais baixos valores ocorreram na fração P, que é composta por material mais fino e que se apresenta em estágio mais avançado de decomposição, fato este também observado por outros autores (Dickow, 2010; Silveira, 2015; Bianchin, 2016).

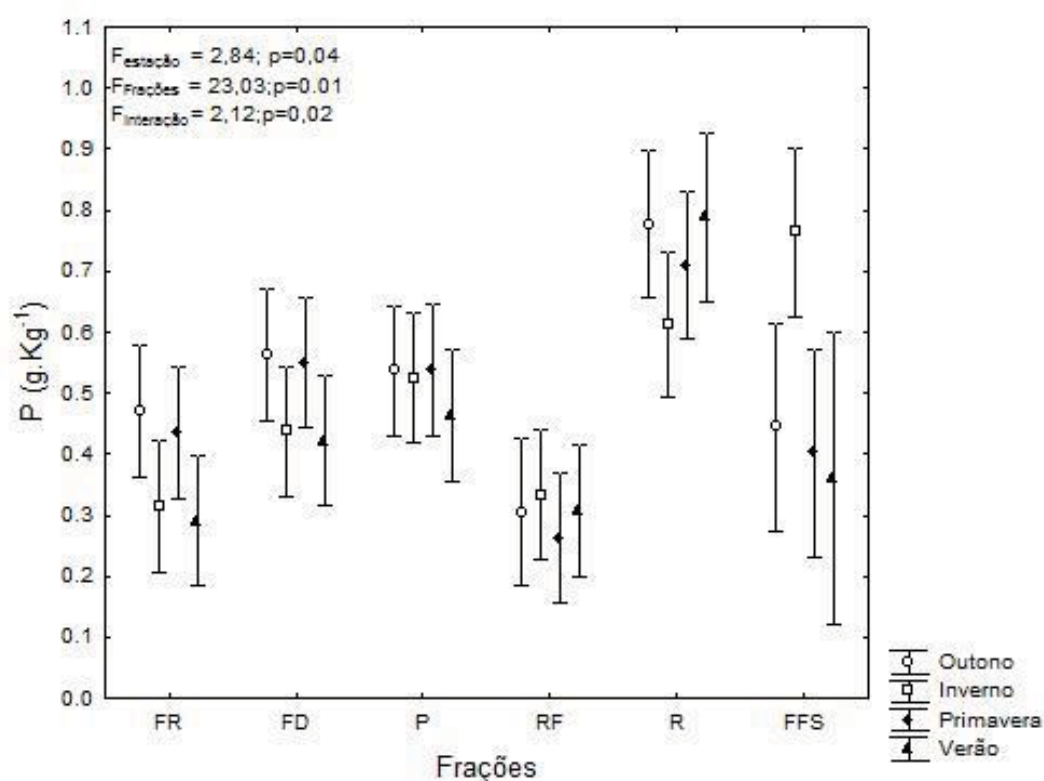
FIGURA 8. RELAÇÃO C:N NAS FRAÇÕES FOLHAS RECÉM DEPOSITADAS (FR), FOLHAS EM DECOMPOSIÇÃO (FD), FLORES, FRUTOS E SEMENTES (FFS), RAIZ (R), FRAÇÃO PENEIRA (P) E RAMOS FINOS (RF) NAS DIFERENTES ESTAÇÕES ENTRE OS ANOS DE 2015 E 2016.



Para o fósforo (Fig. 9) foram observadas variações tanto entre as frações como entre as estações do ano. Foi na fração raiz (R) onde os maiores teores de P foram observados; e na fração ramos finos (RF) onde ocorreram os mais baixos valores. As folhas recém depositadas (FR) mostram valores próximos aos da fração RF, mas com maior variabilidade entre as estações do ano; e tendência de valores mais elevados no outono e primavera. Esta mesma tendência foi identificada nas folhas em decomposição (FD), mas com médias um pouco mais elevadas quando em comparação com FR. A fração peneira (P) mostrou teres na mesma faixa de valores da fração FD e com pouca variação entre as estações do ano. Já a fração FFS, foi a que apresentou a maior amplitude de variação entre as estações do ano, com valores mais elevados no inverno. A amplitude de variação dos teores de P, observada neste trabalho (entre 0,1 e 0,9 g/kg) está dentro da faixa de amplitude também observada por Dickow (2010), Silveira (2015) e Bianchin (2017). Curiosamente, nos trabalhos

de Dickow (2010) e Bianchin (2016), em Floresta Ombrófila Densa Submontana, sobre solos com teores mais elevados de argila, os teores de P nas raízes foram os mais baixos entre as diferentes frações. Neste trabalho, feito sobre solos arenosos na restinga, foi justamente nas raízes onde foram observados os maiores teores de P. A pergunta que surge é se as raízes das árvores, neste solo arenoso estariam funcionando como um reservatório de P? este comportamento merece ser melhor investigado em futuros trabalhos.

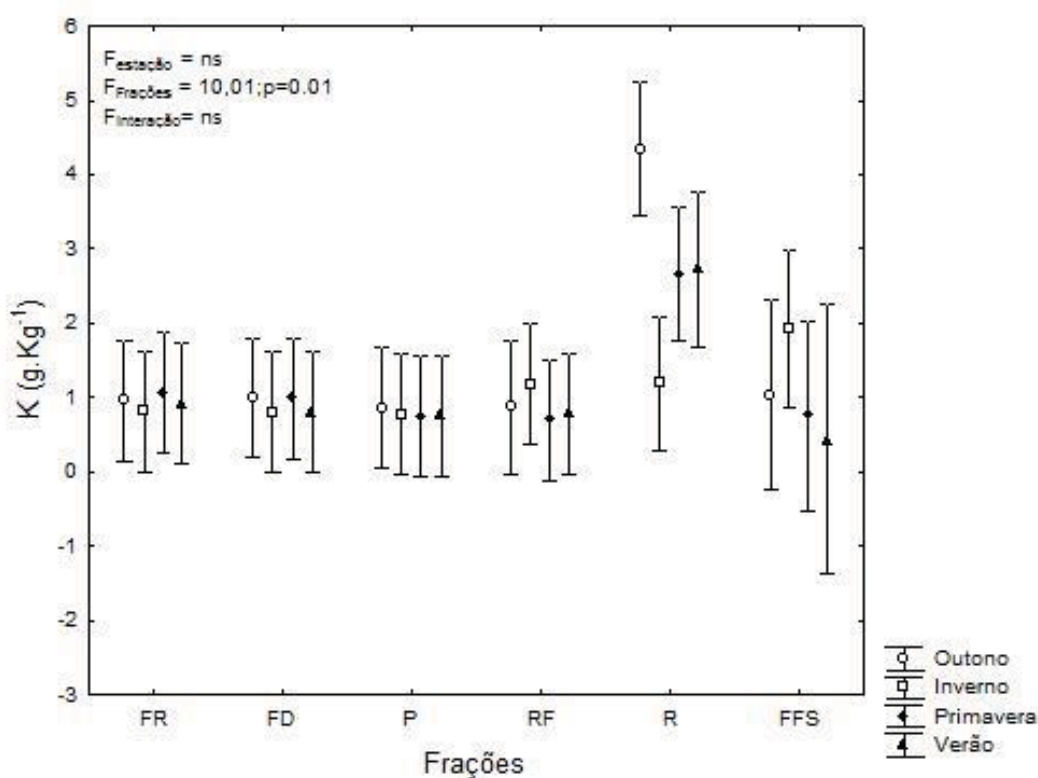
FIGURA 9. TEORES DE FÓSFORO NAS FRAÇÕES FOLHAS RECÉM DEPOSITADAS (FR), FOLHAS EM DECOMPOSIÇÃO (FD), FLORES, FRUTOS E SEMENTES (FFS), RAIZ (R), FRAÇÃO PENEIRA (P) E RAMOS FINOS (RF) NAS DIFERENTES ESTAÇÕES ENTRE OS ANOS DE 2015 E 2016.



Os teores médios de K nas frações FR, FD, P e RF ficaram na mesma faixa de amplitude, com pequeníssimas variações entre as estações do ano. Nas frações FFS e R, estas variações entre estações do ano foram mais presentes, sobretudo na fração raízes (R), onde os teores de K no outono foram bem superiores àqueles das demais estações. Os valores aqui obtidos, para a maior parte das frações com exceção da fração R, são inferiores aos observados nos trabalhos de Dickow (2010), Silveira (2015) e Bianchin (2016),

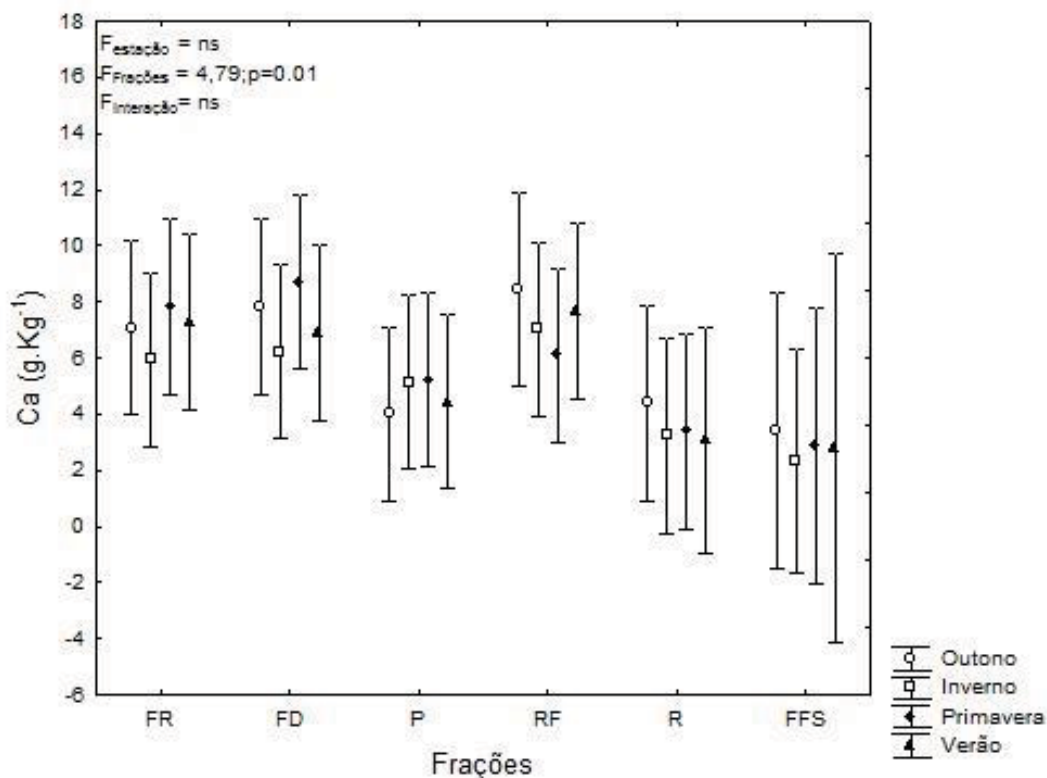
o que denota a baixa disponibilidade deste elemento nos solos de restinga. Da mesma forma que observado para o fósforo, os teores de K também se mostraram mais elevados nas raízes em comparação com as demais frações e em comparação com os resultados de Dickow (2010) e Bianchin (2016).

FIGURA 10. TEORES DE POTÁSSIO NAS FRAÇÕES FOLHAS RECÉM DEPOSITADAS (FR), FOLHAS EM DECOMPOSIÇÃO (FD), FLORES, FRUTOS E SEMENTES (FFS), RAIZ (R), FRAÇÃO PENEIRA (P) E RAMOS FINOS (RF) NAS DIFERENTES ESTAÇÕES ENTRE OS ANOS DE 2015 E 2016.



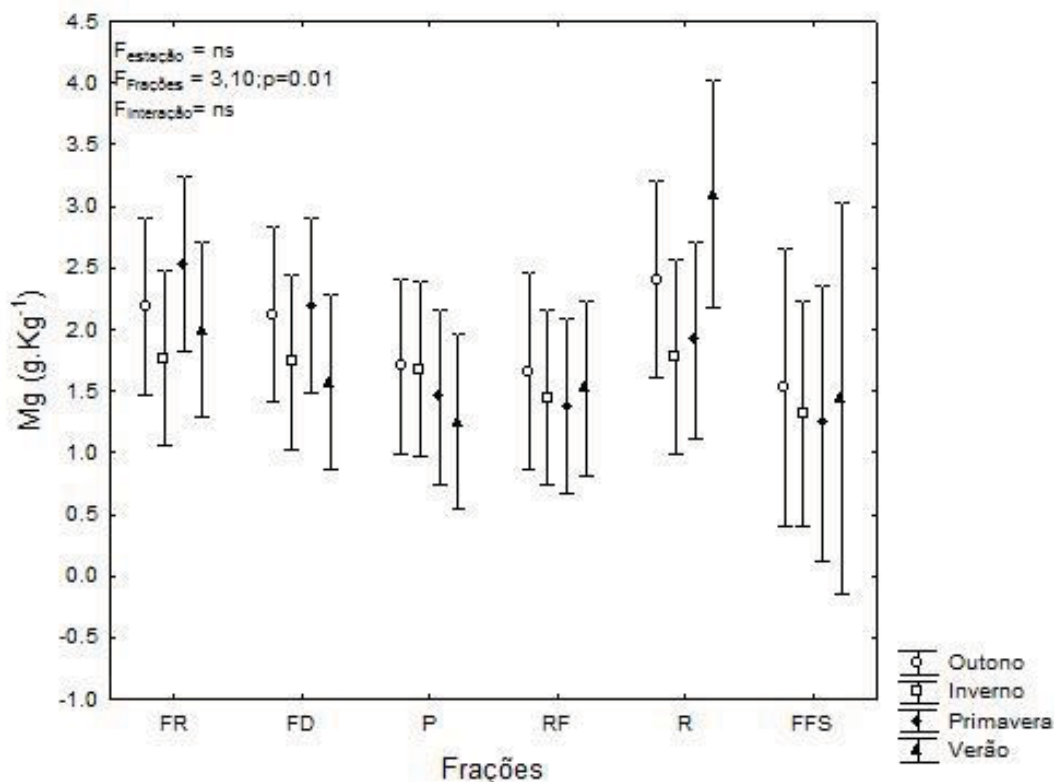
Os teores de Ca nas frações FR e FD ficaram muito parecidos e próximos aos valores observados em RF. Um pouco mais baixos ficaram os teores de cálcio nas frações P, R e FFS, mas esta última mostrou uma maior variabilidade em torno dos valores médios. Em termos de valores absolutos, os teores aqui observados estão dentro da amplitude de valores observada nos trabalhos de Dickow (2010, Silveira (2015) e Bianchin (2016). A pequena variação entre as estações do ano, é comportamento também observado por Alves et al. (2014) em Floresta Estacional Decidual e por Silveira (2015) em Floresta Ombrófila Densa Submontana.

FIGURA 11. TEORES DE CÁLCIO NAS FRAÇÕES FOLHAS RECÉM DEPOSITADAS (FR), FOLHAS EM DECOMPOSIÇÃO (FD), FLORES, FRUTOS E SEMENTES (FFS), RAIZ (R), FRAÇÃO PENEIRA (P) E RAMOS FINOS (RF) NAS DIFERENTES ESTAÇÕES ENTRE OS ANOS DE 2015 E 2016.



O Mg foi maior na fração raízes (R), fato também identificado para P e K. Como já mencionado anteriormente, neste ambiente de solos arenosos, as árvores parecem ter desenvolvido uma estratégia de acumular estes elementos em suas raízes, que funcionariam como um reservatório de nutrientes, uma vez que o solo não teria esta capacidade, devido à baixa capacidade de retenção de nutrientes do mesmo. Os teores de Mg ficaram um pouco mais baixos nas frações FR, FD, P e RF; e ligeiramente mais baixos na fração FFS, a qual, semelhante ao observado para outros nutrientes, mostrou a maior variabilidade em torno da média. Os teores de Mg, aqui, também se enquadram dentro da faixa de amplitude de valores observadas por Dickow (2010), Silveira (2015) e Bianchin (2016).

FIGURA 12. TEORES DE MAGNÉSIO NAS FRAÇÕES FOLHAS RECÉM DEPOSITADAS (FR), FOLHAS EM DECOMPOSIÇÃO (FD), FLORES, FRUTOS E SEMENTES (FFS), RAIZ (R), FRAÇÃO PENEIRA (P) E RAMOS FINOS (RF) NAS DIFERENTES ESTAÇÕES ENTRE OS ANOS DE 2015 E 2016.



4. CONCLUSÕES

A ordem decrescente de deposição das frações da serapilheira foi: Folhas > Ramos Finos > Miscelânea > FFS em todas as estações do ano. E o maior aporte anual de folhas ocorreu no verão, seguido da primavera, com menores deposições no inverno e outono. A deposição de serapilheira mostrou relação com a precipitação e a temperatura média, onde os meses de maior temperatura e precipitação coincidem os de maior deposição.

A serapilheira acumulada mostrou maior estoque no outono, sobretudo para a fração peneira (P) composta por material mais fino e fragmentado, como decorrência da ação decompositora da serapilheira depositada na primavera e verão, estações com as maiores taxas de decomposição.

A ordem decrescente de concentração dos macronutrientes foi C>N>Ca>Mg>K>P, em todas as estações do ano e em praticamente todas as frações da serapilheira, comportamento observado em outros trabalhos na Floresta Atlântica. Chama a atenção os teores N, P, K e Mg mais elevados na fração raiz (R), o que sugere este compartimento da plantas como um importante reservatório nutricional nas florestas de restinga, sobre solos arenosos e com baixa capacidade de retenção de nutrientes.

5. REFERÊNCIAS

- ALVES, M. P.; VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Efeito da fragmentação florestal sobre o acúmulo de serapilheira em Floresta Estacional Decidual. **ENFLO Ecologia e Nutrição Florestal**. v.2, n.3, p.63-71, set./dez. 2014.
- BARANTAL, S.; SCHIMANN, H.; FROMIN, N. HATTENSCHWILER, S. C, N and P fertilization in an Amazonian rainforest supports stoichiometric dissimilarity as a driver of litter diversity effects on decomposition. **Proceedings of the Royal Society**. B 281. 2014.
- BIANCHIN, J. E.; MARQUES, R.; BRITEZ, R. M.; CAPRETZ, R. L. Deposição de Fitomassa em Formações Secundárias na Floresta Atlântica do Paraná. **Floresta e Ambiente**. v. 23, n. 4. 2016.
- BRITEZ, R. M.; SANTOS FILHO, A.; REISSMANN, C. B.; SILVA, S. M.; ATHAYDE, S. F.; LIMA, R. X.; QUADRO, R. M. B. Nutrientes no solo de duas florestas da planície litorânea da Ilha do Mel, Paranaguá, PR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 21, p. 625-634. 1997.
- CALDEIRA, M. V. W.; VITORINO, M. D.; SCHAADT, S. S.; MORAIS, E.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 29, n. 1. jan./mar. p. 53-68. 2008.
- CAPELLESSO, E. S.; SCROVONSKI, K. L.; ZANIN, E. M.; HEPP, L. U.; BAYER, C.; SAUSEN, T. L. Effects of forest structure on litter production, soil

chemical composition and litter-soil interactions. **Acta Botanica Brasilica**. v. 30, n. 3. p. 329-335. July-September, 2016.

CUNHA NETO, F. V.; LELES, P. S. S.; PEREIRA, M. G.; BELLUMATH, V. G. H.; ALONSO, J. M. Acúmulo e decomposição da serapilheira em quatro formações florestais. **Ciência Florestal**. v. 23, n. 3. p. 379-387, jul.-set., 2013.

DICKOW, K. M. C. **Ciclagem de fitomassa e nutrientes em sucessão secundária na Floresta Atlântica, Antonina, PR**. Tese de doutorado - Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2010. 215 p.

DICKOW, K. M. C.; MARQUES, R.; PINTO, C. B. Nutrient Ccomposition of mature and litter leaves and nutrient mobilization in leaves of tree species from secondary Rainforests in the South of Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v.52, n. 5. pp. 1099-1106, September-October 2009.

GIESSELMANN, U. C.; MARTINS, K. G.; BRANDLE, M.; SCHADLERC, M.; MARQUES, R.; BRANDL, R. Diversity and ecosystem functioning: Litter decomposition dynamics in the Atlantic Rainforest. **Applied Soil Ecology**. v. 46, n.2. p. 283-290. 2010.

GODINHO, T. O.; VALDEIRA, M. V. W.; ROCHA, J. H. T.; CALIMAN, J. P.; TRAZZI, P. A. Quantificação de biomassa e nutrientes na serapilheira acumulada em trecho de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES. **CERNE**. v. 20, n. 1. 11-20 p. jan./mar, 2014.

GOMES, J. M.; PEREIRA, M. G.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; PEREIRA, G. H. A.; GONDIM, F. R.; SILVA, E. M. R. Aporte de serapilheira e de nutrientes em fragmentos florestais da Mata Atlântica, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.5, n.3. p.383-391, jul.-set., 2010.

HAMMER, O.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P. D. **Paleontological statistics software package for education and data analysis**. Paleontological Data Analysis. Blackwell. 2001. PAST.

HOPKINS, B. Vegetation of the Olkemeji Forest Reserve, Nigéria. In: The litter and soil with special reference to their seasonal changes. **Journal of Ecology**. v.54. p.687-703, 1966.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 10 out. 2016.

MARQUES, M. C. M.; ZWIENER, V. P.; RAMOS, F. M.; BORGIO, M. MARQUES, R. Forest structure and species composition along a successional gradient of Lowland Atlantic Forest in Southern Brazil. **Biota Neotropica**. v. 14, n. 3. 2014.

MARTINS, A. P. L; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico analíticos. **Scientia Agraria**. v. 8, n. 1. p. 1-17, 2007.

MARTINS, K. G. **Deposição e decomposição de serapilheira em uma Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas sobre solos hidromórficos na estação ecológica da Ilha do Mel – PR**. Dissertação de Mestrado – Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2004.

SILVEIRA, F. M. **Ciclagem de nutrientes em estágios sucessionais da Floresta Ombrófila Densa do Paraná**. Tese de doutorado - Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2015. 144 p.

PAULA, R. R.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, L. F. T. Litter deposition and decomposition in three forest fragments periodically floodable in the island of Marambaia, RJ. **Ciência Florestal**. v. 19, n. 2, abr – jun, 2009.

PEREIRA, M. G.; SILVA, A. N.; PAULA, R. R.; MENEZES, F. T. Aporte e decomposição de serapilheira em floresta periodicamente inundável na restinga da Marambaia, RJ. **Ciência Florestal**. v. 22, n. 1, p. 59-67. jan.-mar, 2012.

PEREIRA, M. G.; MENEZES, L. F. T.; SCHULTZ, N. Aporte e decomposição da serapilheira na Floresta Atlântica, Ilha da Marambaia, Mangaratiba, RJ. **Ciência Florestal**. v. 18, n. 4, p. 443-454, out.-dez. 2008.

PEREIRA, G. H. A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; AMORIM, T. A.; MENEZES, C. E. G. Decomposição da serrapilheira, diversidade e funcionalidade de invertebrados do solo em um fragmento de Floresta Atlântica. **Bioscience Journal**. v. 29, n. 5, p. 1317-1327, Sept./Oct. 2013.

PINTO, C. B.; MARQUES, R. Aporte de nutrientes por frações da serrapilheira em sucessão ecológica de um ecossistema da Floresta Atlântica. **Floresta**. v. 33, n. 3, 2003.

PIRES, L. A.; BRITZ, R. M.; MARTEL, G.; PAGA, S. N. Produção, acúmulo e decomposição da serrapilheira em uma restinga da Ilha do Mel, Paranaguá, PR, Brasil. **Acta botanica brasílica**. v.20, n.1. p. 173-184. 2006.

PROTIL, C. Z. **Contribuição de quatro espécies arbóreas ao ciclo biogeoquímico em Floresta Atlântica na planície litorânea do Paraná**. Tese de doutorado - Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2006. 150 p.

ROCHA, A. A. **Deposição de fitomassa e nutrientes, acumulação e decomposição de serrapilheira em três tipologias da Floresta Atlântica, Paranaguá, PR**. Dissertação de mestrado - UFPR. 2006.

SCHEER, M. B. Decomposição e liberação de nutrientes da serrapilheira foliar em um trecho de Floresta Ombrófila Densa Aluvial em regeneração, Guaraqueçaba (PR). **Floresta**. v. 38, n. 2, abr./jun. 2008.

SCORIZA, R. N.; PEREIRA, M. G.; PEREIRA, H. A.; MACHADO, D. L.; SILVA, E. M. R. Métodos para coleta e análise de serrapilheira aplicados à ciclagem de nutrientes. **Floresta & Ambiente**. Série Técnica. v.2, n.2. p. 01 - 18, 2012.

SHANKS, R.; OLSON, J.S. First year breakdown of leaf litter in Southern Appalachia. **Forest Science**. v.134. p.194-195, 1961.

SILVA, H. F.; BARRETO, P. A. B.; SOUSA, G. T. O.; AZEVEDO, G. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; OLIVEIRA, F. G. R. Decomposição de serrapilheira foliar em três sistemas florestais no Sudoeste da Bahia. **Brazilian Journal of Biosciences**. v. 12, n. 3, p. 164-172, jul./set. 2014.

SISTEMA METEOROLÓGICO DO PARANÁ - SIMEPAR. Banco de dados meteorológicos do SIMEPAR. Disponível em: <<http://www.simepar.br/>> Acesso em 10 jan. 2017.

SOUZA, R. C.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; SILVA, E. M. R.; PAULA, R. R.; MENEZES, L. F. T. Estrutura da comunidade da fauna edáfica em fragmentos florestais na Restinga da Marambaia, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.3, n.1, p.49-57, jan/mar. 2008.

VALENTINI, C. M. A.; SOARES, G. S.; SANTANA, R. A.; GUIMARÃES, A. F. S.; SILVA, A. H. B. Produção, acúmulo e decomposição de serapilheira em uma área revegetada do Parque Estadual Massairo Okamura em Mato Grosso. **Holos**. v.5. p. 211 – 221, 2014.

CAPÍTULO 3: MACROFAUNA EDÁFICA E SUA RELAÇÃO COM A DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSE DAS TERRAS BAIXAS, EM PARANAGUÁ, PR.

RESUMO

Processos de decomposição são essencialmente biológicos com estreita relação com a ação da fauna edáfica, mas influenciados pelo clima e pela qualidade do material vegetal, promovendo, assim, a decomposição e ciclagem de nutrientes em florestas tropicais. Identificar as relações entre a fauna edáfica e a decomposição da serapilheira é passo importante para o conhecimento do funcionamento biogeoquímico destas florestas. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da sazonalidade sobre a distribuição, diversidade e funcionalidade da macrofauna edáfica na interface solo-serapilheira e sua relação com o processo de decomposição em Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, sobre Espodossolo, no litoral do Paraná. O estudo foi realizado no Parque Estadual do Palmito, em Paranaguá, no período de abril de 2015 a março de 2016. Foi coletada serapilheira acumulada sobre o solo ao final de cada estação do ano para posterior fracionamento em diferentes frações e determinação da biomassa acumulada; e a macrofauna contida nas amostras foi triada e identificada ao nível de ordem e de acordo com os hábitos alimentares. Sob cada amostra coletada de serapilheira acumulada, foi também coletado um monólito de solo de onde foi extraída a macrofauna, a qual foi triada da mesma forma realizada para a serapilheira. Foi coletada também, mensalmente, durante o período de estudo, a serapilheira depositada para estabelecer a taxa de decomposição (k). Além disso, foram determinados os teores de C, N, P, K, Ca e Mg para cada fração da serapilheira acumulada. Os resultados mostraram que no solo as ordens mais frequentes foram Hymenoptera, Isoptera, Oligochaeta; e na serapilheira Hymenoptera, Isoptera, Isopoda e Aranea. O índice de diversidade de Shannon da macrofauna edáfica foi maior na serapilheira do que no solo, em todas as estações do ano, com tendência similar para a equitabilidade e maior dominância no solo. Quanto aos grupos funcionais, de acordo com os hábitos alimentares e função trófica, a ordem decrescente no solo foi: grupo social Hymenoptera, social Isoptera e detritívoros/decompositores. Na serapilheira as frequências mais altas foram do grupo social Hymenoptera, nas estações inverno, primavera e verão, seguida do grupo detritívoros/decompositores, com maior frequência no outono. A análise de correspondência canônica (CCA) mostrou correlação significativa entre o grupo social Hymenoptera com a constante de decomposição (k) e a fração FD da serapilheira acumulada com maior concentração de carbono.

PALAVRAS-CHAVE: Ecologia edáfica; Serapilheira; Índices ecológicos; Grupos funcionais; Decomposição.

ABSTRACT

Decomposition processes are essentially biological, closely related to the action of edaphic fauna but influenced by the climate and the quality of the plant material, thus promoting the decomposition and cycling of nutrients in tropical forests. The objective this work was to evaluate the influence of seasonality on the distribution, diversity and functionality of soil macrofauna in the soil-litter interface and its relation with the decomposition process in the Atlantic Rainforest of the Lowlands, under Spodosol, on the coast of Paraná state. The study was carried out in the Palmito Forest State Park in Paranaguá, Paraná, from March 2015 to May 2016. The accumulated litter was collected at the end of each season for subsequent fractionation in different fractions and the accumulated biomass determination. Macrofauna contained in the samples were sorted and identified at the level of order and according to eating habits. In each collected sample of accumulated litter, a monolith of 25x25x10 cm was also collected to determine macrofauna groups equal to litter. The litter deposited to establish the decomposition constant (k) was also collected monthly during the study period. In addition, macronutrients, N, P, K, Ca, Mg, C and C: N ratio were analyzed for each fraction of accumulated litter. The results showed that in the soil the most frequent orders were Hymenoptera, Isoptera, Oligochaeta and in the litter Hymenoptera, Isoptera, Isopoda and Aranea. The Shannon diversity index of the edaphic macrofauna was higher in the litter than in the soil in all the seasons of the year with a similar tendency for the equitability and greater dominance in the soil. Regarding the functional groups, according to dietary habits and trophic function, the descending order in the soil was: social group Hymenoptera, social Isoptera and detritivores / decomposers. In the litter the highest frequencies were from the social group Hymenoptera, in the winter, spring and summer seasons, followed by the group of detritivores / decomposers, more frequently in autumn. The canonical correspondence analysis (CCA) showed a significant correlation between the social group Hymenoptera with the decomposition constant (k) and the FD fraction of the accumulated litter with the highest carbon concentration.

KEYWORDS: Edaphic ecology; Litter; Ecological index; Functional groups; Decomposition.

1. INTRODUÇÃO

O processo de decomposição da serapilheira em florestas pode ser regulado por diferentes fatores abióticos e bióticos; depende principalmente do clima, que direciona condições físicas e, conseqüentemente, condições químicas e edafoclimáticas no ambiente, onde há uma relação direta entre precipitação, temperatura e as taxas de decomposição (Pires et al. 2006; Paula et al., 2009). Depende também da qualidade da serapilheira que se deposita no piso da floresta e do microambiente edáfico florestal (Silva et al., 2014). A

composição química da serapilheira se mostrou determinante nas taxas de decomposição na Floresta Ombrófila Densa, devido às diferenças entre espécies quanto aos teores de nitrogênio, relação C/N, fósforo, lignina, celulose e polifenóis (Giesselman et al., 2010; Dickow et al., 2009; Bianchin et al. (2016). Em florestas tropicais, a serapilheira decompõe mais rapidamente quando se trata de uma mistura de diferentes espécies comparativamente a uma espécie isoladamente; isto devido ao equilíbrio estequiométrico entre C:N:P que controla os consumidores de serapilheira, mas este fato ainda é pobremente entendido (Barantal et al., 2016). A diversidade e funcionalidade da biota do solo direciona e regula as taxas de decomposição do material vegetal que se deposita no solo florestal ao longo do ano (Slade et al., 2012; Santos et al., 2015; Frasson et. al., 2016).

Os processos de decomposição apresentam estreita relação com a ação da fauna edáfica e dos microrganismos, enquanto são influenciados pelo clima e pela qualidade do material vegetal, promovendo, assim, a ciclagem de nutrientes em florestas tropicais. Esta ação se dá ao estabelecerem cadeias tróficas e teias alimentares e ao promoverem a fragmentação, o transporte e o revolvimento da serapilheira (Baquerizzo-Delgado et al., 2015). E a macrofauna edáfica desenvolve um papel importante nestes processos porque exerce funções ecológicas importantes no solo, por meio de ação mecânica como escavações, construção de estruturas, de ninhos e galerias, formando poros e alterando a estrutura física do ambiente edáfico, atuando, assim, como engenheiros de ecossistemas na interface solo - serapilheira (Swift et al., 2010). Mas promovem também, de forma direta, a ciclagem por meio dos invertebrados que realizam a fragmentação de material vegetal e detritivoria da serapilheira, oportunizando a ação de decompositores, atuando assim como transformadores de serapilheira (Swift et al., 2010).

Castro-Huerta et al. (2015) observaram que, nos ambientes menos perturbados, a macrofauna contribui mais para a decomposição da serapilheira, seguindo modelo hierarquizado. A riqueza média da fauna do solo se relacionada com a qualidade e quantidade da serapilheira estocada no solo, e isso se deve à composição florística e às condições microclimáticas (Scoriza & Correia, 2016). E a interação da diversidade de espécies que compõe a

serapilheira com os invertebrados edáficos está diretamente associada à ciclagem de nutrientes (Hattenschwiler & Gasser, 2005). A maior diversidade e atividade da fauna invertebrada do solo, por meio dos saprófago-predadores, também tende a acelerar a decomposição da serapilheira (Pereira et al., 2013). Embora os controles climáticos e de qualidade da liteira sejam razoavelmente bem compreendidos, o papel funcional da biodiversidade do solo, especialmente da macrofauna edáfica na participação de processos de decomposição e consequente ciclagem de nutrientes ainda é pouco compreendido (Hattenschwiler & Gasser, 2005).

O processo de ciclagem e a dinâmica dos nutrientes são muito importantes, em áreas de restinga, por causa da natureza edáfica deste ecossistema, cujos Espodossolos se caracterizam pela baixa capacidade de retenção e disponibilização de nutrientes às plantas (Britez, 1994). Sendo assim, é muito importante compreender melhor as relações entre a fauna do solo e o processo de decomposição da serapilheira, responsável pela sustentabilidade florestal neste ambiente.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da sazonalidade sobre a distribuição, diversidade e funcionalidade da macrofauna edáfica na interface solo-serapilheira e sua relação com o processo de decomposição em Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, sobre Espodossolo, no litoral do Paraná.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Localização da área de estudo e características edafoclimáticas

O estudo foi realizado no Parque Estadual do Palmito, que é unidade de conservação administrada pela Secretaria de Meio Ambiente (SEMA) do estado do Paraná, no período de abril de 2015 a março de 2016. Este Parque está situado no município de Paranaguá, na planície litorânea do estado do Paraná latitude 48°31' Sul e longitude 24°34' Oeste; e altitude entre 5 e 12 metros em relação ao nível do mar, conforme Capítulo. 1.

Coleta de serapilheira e amostragem da fauna edáfica

Serapilheira depositada

As coletas de serapilheira foram realizadas em cinco pontos distintos, ao longo de um transecto de 250 metros. O transecto foi instalado seguindo o protocolo RAPELD do PPBio, onde 25 pontos, a cada 10 metros, foram marcados, obedecendo a curva de nível do terreno. Ao longo do transecto, foi definido e marcado um corredor central de 1,5 metros, para circulação. Os coletores de serapilheira foram instalados à direita deste corredor, a cada 50 metros. Os cinco coletores eram constituídos mangueira plástica dura, formando estrutura circular de 60 cm de diâmetro, onde estava costurada tela de nylon de 2,0 mm de abertura de malha; apoiada em pés de PVC com altura de 40 cm. O intervalo de coleta foi mensal, no período de abril de 2015 a março de 2016. Após cada coleta, a serapilheira foi secada em estufa com circulação forçada de ar a 65°C. Depois disso, o material foi dividido nas seguintes frações: folhas totais depositadas (FT), ramos finos <2cm (RF), órgãos reprodutivos como flores, frutos e sementes (FFS) e material fino misturado ou miscelânea (M), que foi tamisado em peneira de nylon de 9 mm de abertura de malha. Em seguida, o material foi pesado em balança analítica, separadamente em frações.

Serapilheira acumulada

A serapilheira acumulada foi coletada no final de cada estação do ano entre abril de 2015 e março de 2016. A coleta foi feita com auxílio de um gabarito de 25x25 cm construído de canos de PVC. Os pontos de coleta foram os mesmos usados para a coleta da fauna edáfica, conforme descrito mais adiante. Após coleta, o material foi secado em estufa de circulação forçada de ar a 65°C. Depois da secagem, a serapilheira acumulada foi separada nas frações: folhas recém depositadas (FR), folhas em decomposição (FD), galhos finos (GF), órgãos reprodutivos como flores, frutos e sementes (FFS), raízes (R) e fração fina que foi peneirada em peneira com malha de 9 mm de diâmetro

(P). Em seguida, o material das diferentes frações foi pesado em balança analítica.

Decomposição da serapilheira

A taxa de decomposição foi obtida pelo método indireto usando a relação entre o aporte e o estoque de serapilheira no solo, onde a taxa de decomposição do material é estimada pela equação conforme Olson (1963), descrita no Capítulo. 2.

Macronutrientes da serapilheira acumulada

Os macronutrientes analisados, nas diferentes frações da serapilheira, foram carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além da relação C/N.

Para as análises de Ca, Mg, K e P as amostras foram digeridas por digestão seca, conforme Martins & Reissmann (2007); e a solução/extrato foi submetida à leitura em equipamento ICP-OES (Inducted Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer), marca Varian modelo 720 - ES (Capítulo 2).

Para análise do carbono, nitrogênio e relação C:N, as amostras foram moídas, peneiradas e encapsuladas e foram analisadas via combustão no equipamento analisador CHNOS, Vario El III, da marca Elementar (Capítulo 2).

Macrofauna invertebrada do solo/serapilheira

A macrofauna edáfica foi obtida de amostras na forma de monólitos de solo de 25x25x10 cm, metodologia proposta pelo TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility), conforme Anderson & Ingram (1993) adaptado. O solo foi coletado nos primeiros 10 centímetros devido às características físicas do Espodossolo que apresenta alta umidade abaixo desta profundidade, devido ao lençol freático aflorar constantemente em boa parte do ano. Conforme já

indicado anteriormente, os pontos de coleta são coincidentes aos da coleta de serapilheira acumulada.

Cada monólito coletado foi separado em serapilheira e solo; e embalado em saco plástico e transportado até o laboratório de Biologia/Ecologia, do Instituto Federal do Paraná, campus Paranaguá. No laboratório, com o auxílio de pinças e lupas de mão, fez-se a extração e triagem dos animais da macrofauna invertebrada, com esforço amostral de aproximadamente 60 minutos por amostra. Os animais extraídos foram acondicionados em frascos devidamente identificados, contendo álcool 70% para conservação.

A identificação foi feita para grandes táxons ao nível de ordem taxonômica. Foi avaliada a funcionalidade ecológica da macrofauna determinando-se o número de indivíduos por grupo (táxon) e o número total de indivíduos por sistema/estação, obtendo-se assim a frequência relativa (%) e a densidade de grupos (ind./m²) em cada sistema.

Os índices de diversidade de Shannon (H), equitabilidade de Pielou (e) e dominância de Simpson (D) foram calculados utilizando o software Dives v2.0 (Rodrigues, 2007) onde:

O Índice de Diversidade de Shannon (H) leva em consideração a riqueza das espécies e sua abundância relativa, conforme a fórmula:

$$H = - \sum p_i \cdot \log p_i$$

$$p_i = n_i/N;$$

n_i = valor de importância de cada grupo;

N = total dos valores de importância.

O Índice de Pielou (e) é um índice de equitabilidade ou uniformidade, em que a equitabilidade se dá pelo padrão de distribuição dos indivíduos no grupo/táxon. É definido pela fórmula:

$$e = H / \log S$$

H = Índice de Shannon;

S = Número de grupos/táxon.

O índice de Simpson (S) é um índice de dominância de grupos determinado pela fórmula:

$$d = \frac{N_{\max}}{N_T}$$

Nmax = é o número de indivíduos do grupo/táxon mais abundante;

NT = é o número total de indivíduos da amostra.

Os organismos foram divididos em grupos funcionais de acordo com o habitat e principalmente pelos hábitos alimentares e função trófica que desenvolvem no ecossistema edáfico, sendo: Hymenoptera sociais, Isoptera sociais, decompositores/detrítivos, predadores, herbívoros e outros, adaptado conforme categorização proposto por Merlim, (2005) e Moço et al., (2005).

TABELA 1. COMPOSIÇÃO DOS GRUPOS FUNCIONAIS DE ACORDO COM A FUNÇÃO TRÓFICA.

Detritívoros/ Decompositores	Predadores	Sociais - Hymenoptera	Sociais - Isoptera	Herbívoros	Outros
Diplopoda	Aranea	Formicidae	Isoptera	Gastrópoda	Diptera
Isopoda	Chilopoda	Outros		Thysanoptera	Coleóptera
Oligochaeta	Coleóptera				Outros
Symphyla	Opilione			Gastrópoda	Juvenis
Coleoptera				Homoptera	
Blattodea				Orthoptera	

Fonte: Adaptado de Merlim, (2005) e Moço et al., (2005).

Análises estatísticas

Os dados de grupos funcionais de macrofauna de acordo com hábito alimentar, frações da serapilheira acumulada, macronutrientes e constante de decomposição (k) da serapilheira foram analisados de forma multivariada pela

Análise de Correspondência Canônica (CCA) utilizando o software CANOCO versão 4.0 e PAST 2.0 Hammer (2001).

Para os valores obtidos dos índices populacionais como índice de diversidade de Shannon (H), índice de equitabilidade de Pielou (e) e índice de dominância de Simpson (S), foram calculadas as médias e os respectivos erros-padrão para cada estação do ano.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade de grupos e frequência relativa da macrofauna edáfica

As maiores densidades de indivíduos da macrofauna no solo ocorreram no outono, com 5312 indivíduos por m²; e na primavera, com 4256 indivíduos por m². E as menores densidades ocorreram no inverno, com 480 indivíduos por m²; e no verão com 944 indivíduos por m². Nas amostras de serapilheira, foram observadas densidades menos variáveis entre as diferentes estações do ano, a maior densidade foi no inverno, com 2000 indivíduos por m², seguido da primavera com 1680 indivíduos por m²; e as menores foram no verão, com 1392 indivíduos por m², e outono com 1488 indivíduos por m² (Tabela 1). Neste ambiente de restinga, com solos arenosos e muito úmidos, sobretudo no verão, a serapilheira parece ser um habitat mais estável e, portanto, mais favorável à fauna edáfica. É na serapilheira também onde a atividade microbiológica é mais elevada (Peña et al., 2005).

As ordens que tiveram a maior densidade de indivíduos no solo e maior frequência relativa foram Hymenoptera, Isoptera e Oligochaeta. E na serapilheira foram Hymenoptera, isoptera, Isopoda e Aranea. No solo, a ordem Isoptera apresentou maior frequência relativa no outono, com 65,3% de indivíduos; e a ordem Hymenoptera apresentou a maior frequência relativa na primavera, com 89,1% de indivíduos. Na serapilheira, as maiores frequências relativas de Hymenoptera foram encontradas na primavera e verão, com 62,8% e 57,4%, respectivamente; e as menores foram no outono e inverno, com 24,7% e 28,8%, respectivamente. Santos et al. (2015), em outro estudo em Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas sobre Espodossolo, encontraram maior frequência relativa de Hymenoptera em serapilheira e solo. Souza et al. (2008) também encontraram maior frequência de Hymenoptera, na mesofauna,

em dois fragmentos florestais na restinga em Marambaia RJ. Os isopodas, na serapilheira, se concentraram nas estações primavera (7,6%) e verão (10,3%). A ordem Aranea mostrou maior densidade também no outono, com frequência de 16,1%; e no verão com 14,9%. No solo destaca-se a frequência relativa de Oligochaetas, com 13,3% no inverno e 13,5% no verão.

TABELA 2. DENSIDADE POPULACIONAL (INDIVÍDUOS/m²) E FREQUÊNCIA RELATIVA (FR) EM (%) DE MACROFAUNA, EM AMOSTRAS DE SOLO E SERAPILHEIRA DA FLORESTA OMBRÓFILA Densa DAS TERRAS BAIXAS, NAS DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO.

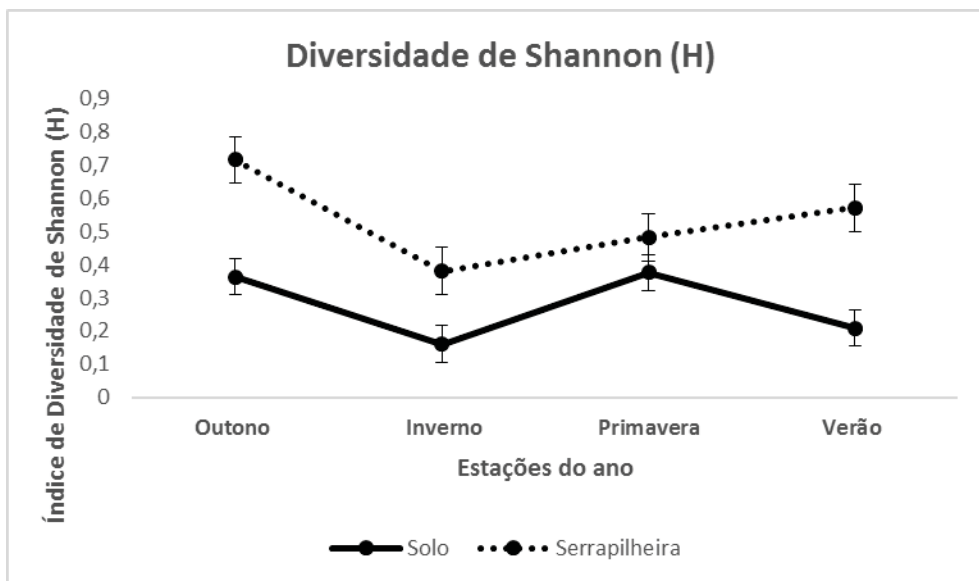
Grupo Ordem	Out				Inv				Pri				Ver			
	solo Ind m ²	F.R %	ser Ind m ²	F.R %	solo Ind m ²	F.R %	ser Ind m ²	F.R %	solo Ind m ²	F.R %	ser Ind m ²	F.R %	solo Ind m ²	F.R %	ser Ind m ²	F.R %
Hymenoptera (Form.)	1536	28,9	368	24,7	272	56,6	576	28,8	3792	89,1	1056	62,8	0	0	800	57,4
Hymenoptera (outro)	0	0	32	2,15	0	0	0	0	32	0,75	48	2,85	0	10	0	0
Isoptera (Termita)	3472	65,3	112	7,52	0	0	1024	51,2	0	0	0	0	656	69,5	0	0
Isopoda	16	0,30	30	20,4	16	3,33	112	5,60	32	0,75	128	7,61	0	0	144	10,3
Coleóptera	0	0	96	6,45	16	3,33	32	1,6	32	0,75	80	4,76	32	3,38	80	5,74
Coleóptera (Stafil.)	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0,37	32	1,90	0	0	0	0
Aranea	16	0,30	240	16,1	48	10	96	4,80	16	0,37	112	6,66	0	0	208	14,9
Blattodea	16	0,30	128	8,60	0	0	48	2,40	0	0	32	1,90	0	0	0	0
Hemiptera	0	0	32	2,15	16	3,33	0	0	16	0,37	16	0,95	0	0	16	1,14
Psocoptera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oligochaeta	48	0,90	0	0	64	13,3	0	0	128	3,00	0	0	128	13,5	16	1,14
Pseudoscorpione	0	0	16	1,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Homoptera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0,95	0	0	32	2,29
Chilopoda	32	0,60	0	0	0	0	64	3,20	96	2,25	16	0,95	48	5,08	16	1,14
Diptera	0	0	16	1,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gastropoda	16	0,30	0	0	16	3,33	16	0,80	16	0,37	16	0,95	0	0	0	0
Opilione	0	0	16	1,07	0	0	16	0,80	0	0	32	1,90	0	0	16	1,14
Coleóptera Juv.	64	1,20	0	0	0	0	0	0	32	0,75	0	0	16	1,69	16	1,14
Juv. não Ident.	96	1,80	96	6,45	32	6,66	16	0,80	16	0,37	48	2,85	0	0	32	2,29
Diplopoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	1,69	0	0
Symphyla	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	5,08	016	1,15
Oligochaeta (ovo)	0	0	32	2,15	0	0	0	0	32	0,75	48	2,85	0	0	0	0
Total	5312	100	1488	100	480	100	2000	100	4256	100	1680	100	944	100	1392	100

Índices de diversidade de Shannon, equitabilidade de Pielou e dominância de Simpson

O índice de diversidade de Shannon (Figura 1) da macrofauna edáfica invertebrada foi maior na serapilheira quando comparado com o solo em todas as estações do ano. No solo, os maiores valores de diversidade foram observados na primavera e no outono. Na serapilheira foram observados os maiores valores de diversidade no outono e no verão. As variações deste índice no solo ao longo do ano foram menores do que na serapilheira mostrando que a riqueza de grupos neste compartimento oscila menos do que na serapilheira ao longo das estações do ano. Estes fatos mostram, como já comentado anteriormente, a preferência da fauna edáfica pela serapilheira. Na floresta aqui estudada, o solo permanece bastante úmido o ano todo e excessivamente úmido em alguns períodos como verão e primavera (Schwarzbach, 2005) que são os períodos de maior precipitação interna (Protil, 2006). Evento similar foi observado por Marques et al. (2014) ao comparar diferentes sistemas de cultivo com floresta ripária.

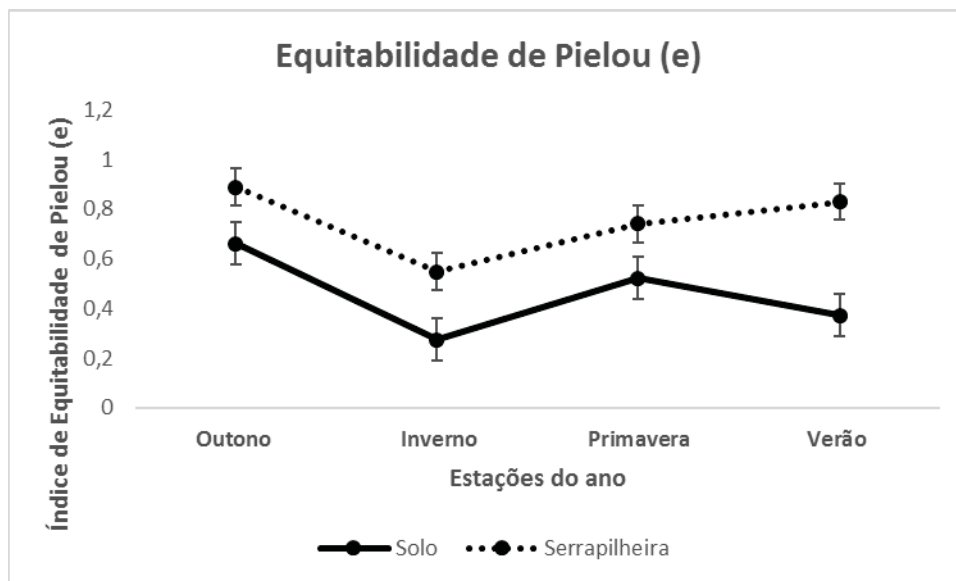
Além disso, no Espodossolo, a serapilheira possui mais nutrientes disponíveis do que o solo mineral (Rocha, 2006; Corrêa, 2007). Fernandes et al. (2011) observaram em Planossolo Háplico sob diferentes tipologias de vegetação, uma diminuição dos índices de Shannon e Pielou da mesofauna edáfica no outono, estando esta baixa associada à diminuição no aporte de serapilheira, na temperatura e na umidade, e consequentemente na diminuição da alimentação, o que afetou a diversidade animal. Por outro lado, Souza et al. (2008), na restinga da Marambaia, RJ, não observaram preferência da mesofauna edáfica entre os compartimentos solo e serapilheira em dois fragmentos florestais. Silva et al. (2013) também não encontraram diferença acentuada entre solo e serapilheira para a riqueza de grupos na restinga de Marambaia, mas observaram que houve preferência dos organismos pela serapilheira no verão e pelo solo no inverno, diferente do comportamento aqui observado, com maior diversidade na serapilheira em relação ao solo durante todo o ano.

FIGURA 1. ÍNDICE DE DIVERSIDADE DE SHANNON (H) NA SERAPILHEIRA E NO SOLO EM DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO.



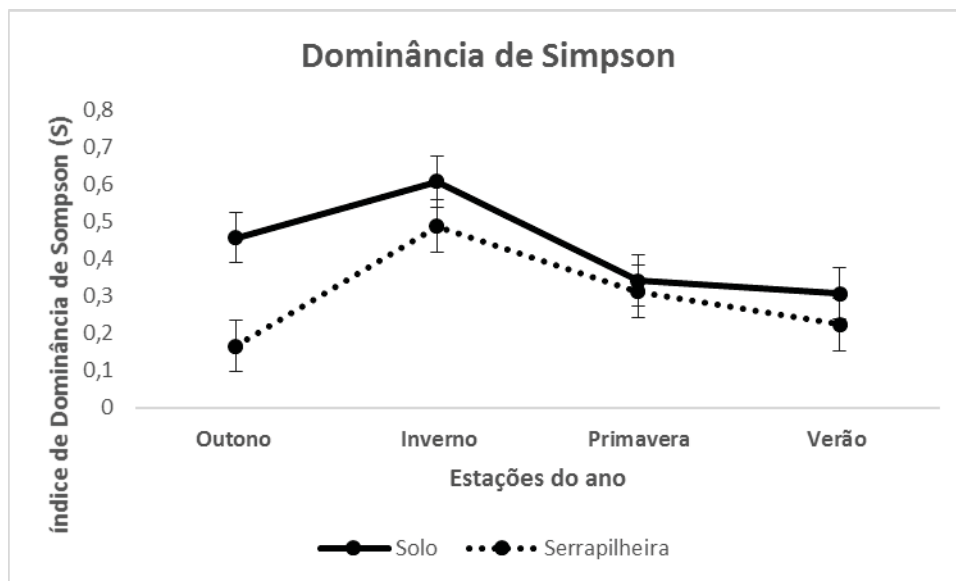
A equitabilidade na serapilheira mostrou-se superior àquela observada no solo em todas as estações do ano (Figura 2), seguindo comportamento semelhante ao observado para o índice de diversidade de Shannon. Na serapilheira a equitabilidade no outono e no verão foram maiores e o menor valor para o índice foi no inverno. Quanto ao solo, os maiores índices foram no outono e na primavera e o menor no inverno. Moço et al. (2005) não observaram preferência da fauna entre os compartimentos solo e serapilheira, em diferentes épocas do ano, ao estudar Floresta Ombrófila Densa Submontana, Montana e plantios de Eucaliptus, mas observaram influência da época de coleta na variação da densidade de fauna, riqueza de espécies, índice de Shannon e índice de Pielou. De maneira geral, a diversidade e a equitabilidade seguem um mesmo padrão, devido ao modelo utilizado para se determinar os índices, onde se considera a riqueza de grupos. Além disso, Scoriza & Correia (2016) observaram que a riqueza da fauna edáfica tem correlação significativa com o potássio, nitrogênio, fósforo e carbono da serapilheira, e com a composição florística da serapilheira.

FIGURA 2. ÍNDICE DE EQUITABILIDADE DE PIELOU (e) NA SERAPILHEIRA E NO SOLO EM DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO.



Quanto ao índice de dominância de Simpson (S) (Figura 3), o solo apresentou os maiores valores quando comparado com a serapilheira em todas as estações do ano. A maior dominância foi observada no inverno, tanto no solo como na serapilheira. E a menor dominância foi observada na serapilheira do outono e verão. A dominância apresenta relação oposta à diversidade de Shannon; onde o índice de dominância foi maior, a diversidade de grupos foi menor e vice-versa. A maior dominância no solo, sobretudo no outono e inverno pode ser explicada pelo menor encharcamento do solo nestas épocas do ano. Alguns grupos apresentaram maior preferência pelo solo nas diferentes estações como Isoptera, no verão e primavera, ou são essencialmente de solo como as Oligochaetas e este fato pode ser observado na tabela 1. Esta preferência tem sido utilizada, por alguns autores, propondo a macrofauna edáfica como bioindicadora de ambientes (Pereira et al. 2012; Marques et al., 2014; Santos et al., 2015).

FIGURA 3. ÍNDICE DE DOMINÂNCIA DE SIMPSON (S) NA SERAPILHEIRA E NO SOLO EM DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO.



Quanto à frequência dos grupos no solo de acordo com a distribuição de grupos funcionais conforme a cadeia trófica (tabela 3.), foi possível observar que o grupo que se destacou foi o social Hymenoptera, nas estações inverno (89,2%), primavera (88,9%), e outono (27,9%). O segundo grupo que se destacou foi social Isoptera no verão (69,5%) e outono (63,1%), porém, não foi observado no inverno e primavera. Destaca-se também a alta frequência de detritívoros/decompositores, principalmente no verão (22%) quando comparado com as outras estações do ano.

Na serapilheira as frequências mais altas foram do grupo social Hymenoptera, em todas as estações do ano, com os maiores valores observados na primavera (76,4%) e verão (54,7%); e as menores no outono e inverno. O segundo grupo que se destacou na serapilheira foi o dos detritívoros/decompositores em todas as estações, porém, com alta frequência no outono (37,4%) e verão (20%). E o grupo social isoptera também teve alta frequência nas estações de menor precipitação (outono e inverno). Quanto aos predadores foi possível observar que predominaram na serapilheira em relação ao solo em todas as estações, com destaque para o outono e verão onde os predadores tiveram as maiores porcentagens de indivíduos com 18,2% e 17,3%. Esta preferência pela serapilheira provavelmente é por causa de

alimentos, ou seja, presas mais diversas e abundantes que compõem o grupo dos detritívoros/decompositores.

Os detritívoros/decompositores apresentaram maior frequência na serapilheira do que no solo, pois na serapilheira eles encontram mais material associado aos seus hábitos alimentares. Embora a decomposição da serapilheira no outono tenha sido mais baixa do que na primavera e no verão (Figura 4), foi observada alta frequência relativa de isopodas nesta estação com 20,4%, mas também foi observado 10,3% no verão (Tabela 2). Os Isopodas são detritívoros/decompositores e o fato de estarem presentes na serapilheira do outono e verão deve estar associado a característica do material que compõe o litter os nutrientes disponíveis nas diferentes frações da serapilheira e até mesmo aos hábitos alimentares de folhas que se depositam nas diferentes estações do ano. Comportamento similar dos isopodas foi observado por Khaleid e Wakeil (2015) ao testar em laboratório a decomposição de litter com predominância de folhas de uma espécie de Magnólia e Carvalho associados a composição da serapilheira. Frasson et al. (2015) encontraram relação entre a decomposição de folhas de diferentes espécies que compõem a serapilheira e a diversidade de grupos de mesofauna e isópodas em ensaios com litterbags em plantios de eucaliptos e espécies pioneiras, no estado de Santa Catarina.

TABELA 3. DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA (%) DE GRUPOS FUNCIONAIS DA MACROFAUNA EDÁFICA, DE ACORDO COM OS HÁBITOS ALIMENTARES E FUNÇÃO TRÓFICA, NA SERAPILHEIRA E NO SOLO, EM DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO.

Grupo Funcional	Out		Inv		Prim		Ver	
	Solo F.R%	Ser F.R%	Solo F.R %	Ser F.R%	Solo F.R%	Ser F.R%	Solo F.R%	Ser F.R%
Detritívoros/Decompositores	2,32	37,4	6,7	12	5,4	10,7	22,0	20
Predadores	1,17	18,2	3,6	7,2	1,8	7,14	6,8	17,3
Herbívoros	0	0	0	0	0,2	1,42	0	2,7
Sociais/Hymenoptera	27,9	23,2	89,2	28,8	88,9	76,4	0	54,7
Sociais/Isoptera	63,1	9,0	0	51,2	0,51	0	69,5	0
Outros	5,5	12,1	0,5	0,8	3,1	4,3	1,70	5,3
Total	100	100	100	100	100	100	100	100

Análise de Correspondência Canônica

Por meio da análise de correspondência canônica (CCA) foi possível identificar correlação significativa do carbono e da fração folhas em decomposição (FD) da serapilheira acumulada com os grupos funcionais de macroinvertebrados da serapilheira, de acordo com os hábitos alimentares, nas diferentes estações do ano com ($p < 0,01$) de significância de acordo com o teste de Montecarlo. No primeiro eixo o carbono da serapilheira se correlacionou fortemente com (0,76), mostrando que é um preditor significativo na decomposição da funcionalidade da macrofauna invertebrada com maior concentração no verão e primavera e associado a grupo social Hymenoptera e herbívoros. Além disso, pode-se observar que a concentração de carbono foi menor no outono onde o grupo de detritívoros/decompositores foi maior mostrando a afinidade deste grupo funcional com frações com menos carbono. Pois, corrobora com o resultado mostrado na figura 7 do capítulo 2 onde o carbono é apresenta menor concentração no outono na fração peneira (P) da serapilheira acumulada, mostrando uma possível afinidade deste grupo

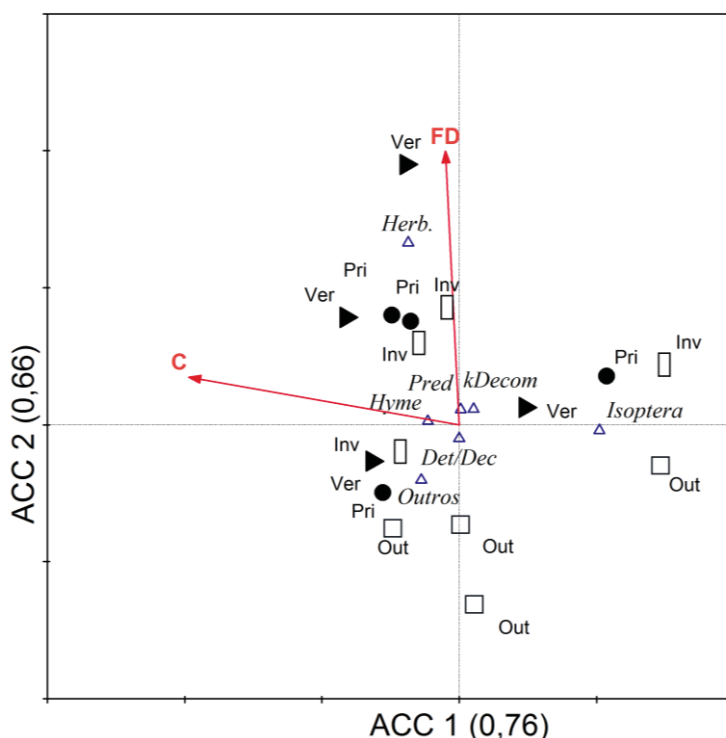
funcional com a fração de maior massa e menos carbono no outono. A constante de decomposição (k) também mostra associação com a menor concentração de carbono e o grupo funcional detritívoros/decompositores.

O segundo eixo mostrou que a fração folhas em decomposição (FD) foi o segundo preditor mais significativo com valor de correlação alto entre as matrizes (0,66). A fração folhas em decomposição (FD) mostrou associação com herbívoros e constante de decomposição (k).

Os macronutrientes não se correlacionaram significativamente com as variáveis analisadas, portanto, não foram interferentes, com exceção do carbono que se correlacionou significativamente com a fração folhas em decomposição (FD) na primavera e verão. Portanto, a decomposição (k) foi maior nas estações verão e primavera. Entendendo que o grupo social Hymenoptera na restinga tem diferentes hábitos alimentares e podem ser generalistas, predadores, herbívoros, palinófagos e parasitoides, pode-se inferir que as formigas generalistas podem se agrupar em frações da serapilheira para desenvolver seu hábito alimentar onde houve maior concentração de carbono, e com isso podem promover a fragmentação do material Oliveira et al. (2009). Os grupos se relacionaram mais com carbono provavelmente devido ao seu hábito alimentar, pois, provavelmente os grupos de Hymenoptera que dominam no verão e primavera, que são estações onde houve maior precipitação e maior saturação de água no solo, devem ser generalistas e fragmentadores de material vegetal Delaibe et al. (2007). Em outro estudo Schimidt et al. (2008) observaram relação entre a decomposição da serapilheira com as formigas e isópteras que compõem a macrofauna edáfica, ao fazer ensaios de decomposição na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas e na Floresta Ombrófila Densa Submontana, porém, a maioria das espécies de formigas encontradas não tinha relação direta com a decomposição das folhas, embora duas espécies fossem detritívoras, mas poderiam ter efeito indireto pelo fato de serem generalistas e/ou predadoras. Além disso, as formigas podem estar promovendo a fragmentação do material para a construção de ninhos na serapilheira, o que é muito comum em fragmentos florestais com maior diversidade de espécies vegetais que

contribuem com a deposição da serapilheira, então, a nidificação pode ser um fator de degradação da serapilheira, pois, Gomes et al. (2013) encontraram correlação entre abundância de ninhos de formicidae com maior profundidade de serapilheira em Mata Atlântica. Além disso, o grupo social Hymenoptera também pode ser correlacionado com a fração FD, no verão e primavera, devido aos Hymenopteras predadores que buscam seu alimento, que são os herbívoros, que fragmentam serapilheira Oliveira et al. (2009).

FIGURA 4. ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA CANÔNICA (ACC) MOSTRANDO CORRELAÇÃO DOS GRUPOS FUNCIONAIS DA MACROFAUNA (Pred = predadores, Hyme = Social Hymenoptera, Isoptera = Social Isoptera, Det/Dec = Detritívoros/Decompositores, Herb = herbívoros e Outros = Hábito não identificado) COM A DECOMPOSIÇÃO (k) DA SERAPILHEIRA, FRAÇÃO SIGNIFICATIVA DA SERAPILHEIRA ACUMULADA FOLHAS EM DECOMPOSIÇÃO (FD), ALÉM DO CARBONO (C) NAS DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO (VERÃO = Ver, PRIMAVERA = Pri, OUTONO = Out e INVERNO = Inv).



A maior taxa de decomposição (k) ocorreu nas estações mais chuvosas mas, o outono mostrou correlação com o grupo detritívoros/decompositores (Fig. 5), e isso pode ser explicado pelo fato desta estação ter apresentado o

maior quantidade da fração peneira (P), embora não tenha apresentado correlação significativa na ACC, mas conforme mostrado no capítulo 2, pode apontar para o fato da macrofauna deste grupo ter maior afinidade com esta fração devido as características químicas como menor relação C:N. E isto pode ser reforçado pelo fato de ter apresentado maior diversidade, equitabilidade de grupos e detritívoros/decompositores (Fig. 4) no outono onde a decomposição não foi maior quando comparado com o verão e primavera, mas pode mostrar a afinidade da fração P em abundância nesta estação. Este resultado corrobora com Barberena-Arias e Aide (2003) que sugerem uma associação com o aumento da massa de serapilheira, complexidade na arquitetura do habitat em fases mais avançadas de sucessão e aumento de recursos que promove a diversidade de espécies que compõe a fauna no solo em estudo realizado em diferentes sistemas florestais subtropicais em Porto Rico.

O outono também apresentou a menor concentração de carbono na fração peneira da serapilheira acumulada, embora não tenha mostrado diferença significativa entre as estações, e se correlacionou com o grupo detritívoros/decompositores e este fato mostra a afinidade dos animais que compõe o grupo com a composição química da serapilheira, embora os outros macronutrientes não tenham se correlacionado positivamente. Pois de acordo com Quadros et al. (2014) os Isopodas, que é a ordem com mais indivíduos que compõe o grupo dos detritívoros/decompositores na serapilheira do outono (tabela 1), tem preferência pelo aumento de nitrogênio e cálcio e baixa relação C:N independente da composição do litter, atribuindo a preferência deste grupo à palatabilidade do material. Neher et al. (2012) também observou na mesofauna invertebrada edáfica correlação entre maior taxa de decomposição com maior disponibilidade de nitrogênio e menos carbono. Capellesso et. al. (2016) sugerem, que no processo de decomposição da serapilheira há efeito complementar ao conteúdo de carbono, fósforo e cálcio em florestas subtropicais, e este efeito complementar pode ser associado ao efeito biótico dos macroinvertebrados envolvidos no processo de decomposição.

Desta forma, a ampliação de análises que permitam a modelagem de padrões de decomposição da serapilheira é fundamental para entender o processo. Giesselman et al. (2010) associam a decomposição das folhas que compõem a serapilheira a um modelo não hierarquizado sem um padrão definido, onde os processos de decomposição podem ou não estar associados diretamente ou indiferentemente aos macroinvertebrados dependendo da espécie que contribui com a formação do litter, e pode também estar associado aos microinvertebrados. Além disso, a mudança nas médias de temperatura e a qualidade da serapilheira interferem na macrofauna e modifica a taxa de decomposição do material depositado no piso florestal Ott et al. (2012). Além da macrofauna edáfica outros fatores envolvidos na decomposição devem ser considerados como os fatores microbiológicos que são responsáveis por processos de decomposição Peña et al. (2005).

4. CONCLUSÕES

As ordens que tiveram a maior densidade de indivíduos no solo e maior frequência relativa foram Hymenoptera, Isoptera e Oligochaeta desconsiderando a estação do ano. E as ordens com maior densidade e frequência relativa na serapilheira foram Hymenoptera, isoptera (Outono e inverno), Isopoda e Aranea. Indicando que as diferentes estações favorecem os diferentes grupos (ordens) da macrofauna invertebrada do solo.

O índice de diversidade de Shannon da macrofauna edáfica foi maior na serapilheira do que no solo em todas as estações do ano. E na serapilheira os maiores valores de diversidade foram no outono e no verão. O índice de equitabilidade de Pielou (e) apresentou comportamento semelhante ao índice de Shannon, devido a relação da diversidade e equitabilidade no modelo adotado. Quanto ao índice de dominância de Simpson (S) foi observado o inverno onde o solo apresentou os maiores valores quando comparado com a serapilheira em todas as estações do ano, e a maior dominância foi observada no inverno tanto no solo como na serapilheira.

Quanto aos grupos funcionais de acordo com os hábitos alimentares e função trófica distribuídos na interface solo-serapilheira nas diferentes estações

do ano, foi observado no solo maior porcentagem para os grupos social Hymenoptera, social Isoptera e detritívoros/decompositores. Na serapilheira as frequências mais altas foram dos grupos social Hymenoptera, em todas as estações do ano, com as maiores observadas na primavera e verão e as menores foram no outono e inverno. O segundo grupo que se destacou na serapilheira foi detritívoros/decompositores provavelmente por causa do material associado aos seus hábitos alimentares. E houve destaque para este grupos no outono com maior frequência na serapilheira.

A análise de correspondência canônica (CCA) mostrou correlação significativa entre os grupos funcionais de macroinvertebrados edáficos, de acordo com os hábitos alimentares e a constante de decomposição (k), também com o teor de carbono e a fração folhas em decomposição da serapilheira acumulada (FD). A maior taxa de decomposição (k) ocorreu nas estações mais chuvosas mas, o outono mostrou correlação com o grupo detritívoros/decompositores e menor concentração de carbono.

5. REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2º ed. Wallingford: CAB International, 1993.
- BARANTAL, S.; SCHIMANN, H.; FROMIN, N. HATTENSCHWILER, S. C, N and P fertilization in an Amazonian rainforest supports stoichiometric dissimilarity as a driver of litter diversity effects on decomposition. **Proceedings of the Royal Society**. B 281. 2014.
- BAQUERIZO-DELGADO, M.; GARCÍA-PALACIOS, P.; MILLA, R. GALLARDO, A.; MAESTRE, F. Soil characteristics determine soil carbon and nitrogen availability during leaf litter decomposition regardless of litter quality. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 81. 134-142 P. 2015.
- BARBERENA-ARIAS, M. F.; AIDE, M. Species diversity and trophic composition of litter insects during plant secondary succession. **Caribbean Journal of Science**. v. 39, n. 2, 161–169. 2003.

BIANCHIN, J. E.; MARQUES, R.; BRITEZ, R. M.; CAPRETZ, R. L. Deposição de Fitomassa em Formações Secundárias na Floresta Atlântica do Paraná. **Floresta e Ambiente**. v. 23, n. 4. 2016.

CASTRO-HUERTA, R. A.; FALCO, L. B.; SANDLER, R. V.; COVIELLA, C. E. Differential contribution of soil biota groups to plant litter decomposition as mediated by soil use. **PEERJ**. 826, march, 2015.

CORRÊA, D. R. **Horizontes orgânicos sob Floresta Ombrófila Densa no litoral paranaense**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2007. 101 p.

DELABIE, J. H. C.; RAMOS, L. S.; SANTOS, J. R. M.; CAMPIOLO, S.; SANCHES, C. L. G. Mirmecofauna (Hymenoptera; formicidae) da serapilheira de um Cacaual inundável do agrossistema do rio Mucuri, Bahia: Considerações sobre conservação da fauna e controle biológico de pragas. **Agrotrópica**. v.19, 5 – 12p. 2007.

DICKOW, K. M. C.; MARQUES, R.; BENGHI, C. P. Nutrient composition of mature and litter leaves and nutrient mobilization in leaves of tree species from secondary rainforests in the South of Brazil. **Brazilian Archives Biology and Technology**. v.52 n.5. p. 1099-1106, Sept/Oct. 2009.

FERNANDES, M. M.; MAGALHÃES, L. M. S.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; BRITO, R. J.; MOURA, M. R. Influência de diferentes coberturas florestais na fauna do solo na Flona Mário Xavier, no município de Seropédica, RJ. **Floresta**. v. 41, n. 3, 2011.

FRASSON, J. M. F.; ROSADO, J. L. O.; ELIAS GALVÃO, S.; HARTE-MARQUES, B. Litter decomposition of two pioneer tree Species and associated soil fauna in areas reclaimed after surface coal mining in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 40, 2016.

GIESSELMANN, U. C.; MARTINS, K. G.; BRÄNDLE, M.; SCHÄDLER, M.; MARQUES, R.; BRANDL, R. Diversity and ecosystem functioning: Litter decomposition dynamics in the Atlantic Rainforest. **Applied Soil Ecology**. v. 46, n.2. p. 283-290. 2010.

GOMES, D. S.; ALMEIDA, F. S.; VARGAS, A. B.; QUEIROZ, J. M. Resposta da assembleia de formigas na interface solo-serapilheira a um gradiente de alteração ambiental. **Iheringia, Série Zoologia**. v. 103, n. 2. 104-109 p. 2013.

HAMMER, O.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P. D. **Paleontological statistics software package for education and data analysis**. Paleontological Data Analysis. Blackwell. 2001. PAST.

HATTENSCHWILER, S.; GASSE, P. Soil animals alter plant litter diversity effects on decomposition. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America – PNAS**. v. 102, n. 5, 2005.

INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods**. 2nd ed. Wallingford: UK CAB International, 171 p.1996.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 10 out. 2016.

KHALEID. F.; EL-WAKEIL. A. Effects of terrestrial isopods (Crustacea: Oniscidea) on leaf litter decomposition processes. **The Journal of Basic & Applied Zoology**. v. 69, p. 10-16. 2015.

MARQUES, D. M.; SILVA, A. B.; SILVA, L. M.; MOREIRA, E. A.; PINTO, G. S. Macrofauna edáfica em diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**. v. 30, n. 5. 1588-1597 p. Sept./Oct. 2014.

MERLIM, A. O. **Macrofauna edáfica em ecossistemas preservados e degradados de Araucária no Parque Estadual de Campos do Jordão, SP**. Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo. 2005.

MOÇO, M. K. S.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; CORREIA, M. E. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 29, p. 555-564. 2005.

NEHER, D. A.; WEICHTA, T.R.; BARBERCHECKB, M.E. Linking invertebrate communities to decomposition rate and nitrogen availability in pine forest soils. **Applied Soil Ecology**. v. 54, p. 14-23, 2012.

OLIVEIRA, E. A.; CALHEIROS, F. N.; CARRASCO, D. S.; ZARDO, C. M. L. Famílias de Hymenoptera (Insecta) como ferramenta avaliadora da conservação de Restingas no extremo sul do Brasil. **EntomoBrasilis**. v. 2, n. 3. 64-69 p. 2009.

OTT, D.; BJORN, C. R.; BROSE, U. Climate change effects on macrofaunal litter decomposition: the interplay of temperature, body masses and stoichiometry. **Philosophical Transactions Royal Society B**. v. 367, 3025–3032 p. 2012.

PAULA, R. R.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, L. F. T.; Aporte de nutrientes e decomposição da serapilheira em três fragmentos florestais periodicamente inundados na Ilha da Marambaia, RJ. **Ciência Florestal**. v. 19, n. 2. p. 139-148, abr.-jun. 2009.

PEÑA, M. L.; MARQUES, R.; JAHNEL, M. C.; DOS ANJOS, A. Respiração microbiana como indicador da qualidade do solo em ecossistema florestal. **Floresta**. v.35, n. 1, jan./abr. 2005.

PEREIRA, G.H. A.; PEREIRA, M. G.; DOS ANJOS, L. H. C.; AMORIM, T. A.; MENEZES, C. E. G. Litter decomposition, diversity and functionality of soil invertebrates in an Atlantic Rain Forest fragment. **Bioscience Journal**. v. 29, n. 5. p. 1317-1327, Sept./Oct. 2013.

PEREIRA, R. C.; ALBNEZ, J. M.; MAMÉDIO, I. M. P. Diversidade da meso e macrofauna edáfica em diferentes sistemas de manejo de uso do solo em Cruz das Almas – BA. **Magistra**. v. 24, número especial. 63-76 p. dez. 2012.

PIRES, L. A.; BRITEZ, R. M.; MARTEL, G.; PAGA, S. N. Produção, acúmulo e decomposição da serapilheira em uma restinga da Ilha do Mel, Paranaguá, PR, Brasil. **Acta bot. bras**. v.20, n.1. p. 173-184. 2006.

PROTIL, C. Z. **Contribuição de quatro espécies arbóreas ao ciclo biogeoquímico em Floresta Atlântica na planície litorânea do Paraná**. Tese de doutorado - Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2006.

QUADROS, A. F.; ZIMMER, M.; ARAUJO, P. B.; KRAY, J. G. Litter traits and palatability to detritivores: a case study across bio-geographical boundaries. **Nauplius**. v.22, n. 2. p. 103-111, 2014.

ROCHA, A. A. **Deposição de fitomassa e nutrientes, acumulação e decomposição de serapilheira em três tipologias da Floresta Atlântica, Paranaguá, PR**. Dissertação de mestrado - UFPR. 2006.

RODRIGUES, W.C. 2007. **DivEs - Diversidade de Espécies - Guia do Usuário**. Seropédica: Entomologistas do Brasil. 9p. Disponível em: <<http://www.ebras.bio.br/dives/>>.

SANTOS, E.; SANTOS, R. C.; MARQUES, R. Macrofauna edáfica na interface solo-serrapilheira e a relação com atributos químicos de um Espodossolo sob dois diferentes sistemas de conservação e uso do solo no município de Paranaguá-PR. **Enciclopedia Biosfera**. v.11, n.21, p. 2294. 2015.

SCHWARZBACH, J. **Dinâmica química da solução do solo em três fases sucessionais da floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no litoral do Paraná**. Dissertação de mestrado em Ciência do Solo – Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2005.

SCORIZA, R. N.; CORREIA, M. E. F. Soil Fauna as Indicator in Slope Forest Fragments. **Floresta e Ambiente**. V. 23, n. 4. 2016.

SCHMIDT, P.; DICKOW, K.; ROCHA, A. A.; MARQUES, R.; SCHEUERMANN, L.; ROMBKE, J.; FORSTER, B.; HOFER, H. Soil macrofauna and decomposition rates in southern brazilian Atlantic Rainforests. **ECOTROPICA**. v.14, p. 89–100. 2008.

SILVA, C. F.; PEREIRA, G. H. A.; PEREIRA, M. G.; SILVA, A. N.; MENEZES, L. F. T. Fauna edáfica em área periodicamente inundável na restinga da Marambaia, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37. p. 587-595. 2013.

SLADE, E. M.; RIUTTA, T. Interacting effects of leaf litter species and macrofauna on decomposition in different litter environments. **Basic and Applied Ecology**. v. 13, 423–431 p. 2012.

SOUZA, R. C.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; SILVA, E. M. R.; PAULA, R. R.; MENEZES, L. F. T. Estrutura da comunidade da fauna edáfica em fragmentos florestais na Restinga da Marambaia, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.3, n.1, p.49-57, jan-mar. 2008.

SWIFT, M. J.; BIGNELL, D.; MOREIRA, F. M. S.; HUISING, J. O inventário da diversidade biológica do solo: conceitos e orientações gerais. In: MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. **Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade**. Ed. UFLA. Lavras, 2010.

CAPÍTULO 4: RELAÇÃO ENTRE ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS E QUÍMICOS DE ESPODOSSOLO, SOB INFLUÊNCIA SAZONAL, EM FLORESTA OMBRÓFILA DENSE DAS TERRAS BAIXAS, PARANAGUÁ, PR

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre os atributos microbiológicos e químicos de um Espodosolo na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no litoral do Paraná, em diferentes estações do ano. A área de estudo foi o Parque Estadual do Palmito, no município de Paranaguá – PR, onde, em transecto de 250 metros foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm. A metodologia utilizada para respiração microbiana do solo foi a respiração basal definida pela quantidade de CO₂ liberado por amostra incubada e posterior titulação. A determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM) foi pela respiração induzida. O quociente metabólico (qCO₂) foi determinado pela razão entre a RBS e o CBM. Fosfato, nitrato e amônio foram determinados pelo método colorimétrico com leitura de microplacas em espectrofotômetro de fluorescência. Foram determinados também o pH em água e a matéria orgânica pelo método de calcinação em mufla a 550 °C. As análises estatísticas foram paramétricas para analisar a variância das taxas de RBS e CBM, e não paramétricas para analisar correlação entre os atributos microbiológicos e químicos do solo, por meio da análise de componentes principais. Os resultados mostraram que a RBS foi maior na profundidade 0-5 cm, sendo os maiores valores de produção de C-CO₂ observados no inverno, seguido do outono, verão e primavera. Na profundidade de 5-10 cm, onde a respiração foi mais baixa do que na superfície, a produção de C-CO₂ no outono foi superior à do inverno e equivalente às da primavera e verão. Os valores de CBM também foram mais elevados na superfície do solo (0-5 cm), sendo superior na primavera comparativamente às outras estações, com a mesma tendência estacional na camada inferior (5-10 cm). O quociente metabólico (qCO₂) foi maior no verão na profundidade 5-10 cm. A análise de componentes principais (ACP) mostrou que de maneira geral a maior (RBS) ocorreu no outono e mostrou correlação com a produção de nitrato de amônio em períodos de menor precipitação (mm) e temperatura média (°C). A CBM mostrou maior correlação com a precipitação, temperatura média e umidade do solo com maior concentração de matéria orgânica (M.O) na primavera e no verão.

PALAVRAS-CHAVE: Respiração edáfica; Biomassa microbiana; Quociente metabólico; Microbiologia do solo; Metabolismo do solo.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the relationship between the microbiological and chemical attributes of a Spodosol at different seasons in the Atlantic Rainforest on the coast plain in Paraná state. The study area was the Palmito Forest State Park in the Paranaguá city in Paraná state, where a plot with collection points was installed in a transect of 250 meters in depths of 0-5 cm and 5-10 cm. The methodology used for soil microbial respiration was the

basal respiration defined by the amount of CO₂ released per incubated sample and subsequent titration. The determination of the carbon of the microbial biomass was by the induced respiration C-CO₂. The qCO₂ was determined by the ratio of RBS to CBM. Phosphate, nitrate and ammonium were determined by the colorimetric method with microplate reading in a fluorescence spectrophotometer. The pH with water and the organic matter by the method of calcination in muffle at 550 °C. The statistical analyzes were parametric to analyze the variance of the RBS and CBM, and multivariate rates to analyze the correlation between the microbiological and chemical attributes of the soil through the principal components analysis. The results showed that RBS was higher at depth 0-5 and winter presented the highest C-CO₂ rate, followed by autumn, and the lowest C-CO₂ rate was observed in spring and summer. The highest CBM was in the spring and the lowest was in the fall at depth 0-5 cm. The metabolic quotient (qCO₂) was higher in summer at depth 5-10 cm. Principal component analysis (PCA) showed that in general, the largest (RBS) occurred in autumn and showed correlation with ammonium nitrate production in periods of lower precipitation (mm) and mean temperature (°C). CBM showed a higher correlation with precipitation, mean temperature and soil moisture with higher organic matter concentration (M.O) in spring and summer.

KEYWORDS: Edaphic respiration; Microbial biomass; Metabolic quotient; Soil microbiology; Soil metabolism.

1. INTRODUÇÃO

A estrutura e o funcionamento da microbiota do solo é sensível as variáveis ambientais impostas principalmente pelo clima mas também pela vegetação. A sazonalidade comanda diferentes condições edáficas onde o microclima edáfico, as características químicas, físico-químicas e físicas do solo são alteradas periodicamente nas diferentes estações do ano em ecossistemas tropicais, tais como a disponibilidade de matéria orgânica, o pH e a umidade do solo, temperatura e regime pluviométrico. Além, da vegetação que contribui com o aporte de material orgânico e a disponibilidade de nutrientes por meio da serapilheira que se deposita no solo nas diferentes estações do ano. Pois a decomposição temporal da serapilheira com as taxas de respiração do solo nas camadas superficiais podem ser bem explicadas a partir dos parâmetros físicos e químicos que interferem na respiração da microbiota Xiao et al. (2014). Então, as condições edáficas impostas irão interferir de forma direta no comportamento da microbiota do solo que realiza diversas atividades biológicas nos processos de decomposição e mineralização da matéria orgânica. Essas

atividades microbianas podem variar e serem favorecidas dependendo dos fatores edáficos como, a disponibilidade de oxigênio, matéria orgânica, temperatura e umidade Vargas e Scholles (2000).

A respiração basal o solo (RBS) e o carbono da biomassa microbiana (CBM) e o quociente metabólico (qCO_2) tem sido utilizado para o entendimento da dinâmica da matéria orgânica do solo e a mineralização do nitrogênio e carbono por meio de correlações Baretta et. al (2008); Baretta et. al (2005). A emissão de CO_2 pelos microrganismos tem relação direta com as características edáficas e edafoclimáticas e interferem diretamente na conservação do carbono no solo Silva et. al (2010). Além disso, a cobertura vegetal tem relação com as taxas de respiração do solo e CBM Braga et. al (2016). Os estudos que relacionam atributos microbiológicos com os atributos químicos do solo e a dinâmica de ciclagem e mineralização em florestas tropicais ainda é pouco conhecido, por isso o entendimento destas correlações em sazonalidade é fundamental para a contribuição de informações que possam enriquecer o conhecimento desta dinâmica na restinga.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre os atributos microbiológicos e químicos de um Espodossolo em diferentes estações na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no litoral do Paraná.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado na Floresta Estadual do Palmito que é unidade de conservação administrada pelo estado do Paraná, no período de março de 2015 a maio de 2016. A Floresta Estadual do Palmito está situada no município de Paranaguá, na planície litorânea do estado do Paraná, conforme descrição no capítulo 1.

Amostragem

Para a coleta de solo foram identificados com piquetes de PVC cinco pontos distintos a cada 50 metros ao longo de um transecto de 250 metros que foi marcado de acordo com o modelo de parcela do PPBio. Este transecto foi

instalado em campo respeitando o desnível do terreno seguindo a curva de nível onde utilizou-se um clinômetro para marcar 25 pontos a cada 10 metros de distância estabelecendo que a faixa direita é utilizada para coleta e uma faixa da esquerda como área sensível separadas por um corredor central de 1,5 metros. As coletas foram realizadas entre o final do outono de 2015 até o final do verão de 2016, sendo que a coleta de solo foi feita no final de todas as estações entre o período. A cada 50 metros no campo foram feitas marcações onde o solo foi coletado em cinco pontos distintos nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm com auxílio de cilindro graduado, porém, apenas três pontos foram considerados para geração dos dados devido a duas amostras apresentarem alta variância, porque uma delas estava no topo do cordão marinho, e a outra na parte mais baixa do intercordão. Depois de coletadas as amostras foram realizadas análises microbiológicas de respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana (CBM), e posterior determinação do quociente metabólico do solo pela diferença da biomassa microbiana pela respiração basal do solo. Também foi determinada a porcentagem de matéria orgânica (M.O) e umidade do solo, pH, fosfato, nitrato e amônio com posterior desdobramento para nitrogênio mineralizável. O solo coletado para análises microbiológicas foram acondicionados em sacos plásticos e transportados para o laboratório de análises biológicas e microbiológicas do Instituto Federal do Paraná do campus Paranaguá onde foram conservados sob refrigeração a 5° C para posteriores análises. As amostras que foram analisadas posteriormente para determinação de parâmetros químicos e físico-químicos foram secadas em estufa de secagem e circulação a 35°C aproximadamente. As amostras foram secadas em estufas e não por ventilação ao ar livre porque a alta umidade do litoral deixa as amostras susceptíveis a proliferação de fungos.

Determinação da respiração basal microbiana do solo (RBS)

A metodologia utilizada para respiração microbiana do solo foi a descrita por Alef (1995) adaptada por Dionísio et. al. (2016), na qual a respiração basal é definida pela quantidade de CO₂ liberado pela amostra. Para isso foram pesadas 50 g de cada amostra de solo úmido em duplicata, sem correção de umidade devido à alta umidade de campo, previamente tamisadas em peneiras

de 2 mm. Posteriormente foram colocadas em frascos fechados hermeticamente, com 20 ml de NaOH a 0,5 N e 10 ml de água destilada, para manutenção da umidade, e submetidas a incubação em estufa a 25 °C durante 168 h. Após isso, o NaOH foi transferido para um Becker com 2 ml de BaCl₂ a 50 % e duas gotas de fenolftaleína, e titulado com HCl a 0,5 N em bureta digital automática.

Determinação do carbono da biomassa microbiana por indução (CBM)

Para determinação C-CO₂ da biomassa microbiana por respiração induzida foi utilizado método colorimétrico conforme Anderson e Domsch (1980), descrita por Hopper (2006), Dionísio et. al. (2016) modificada, conforme as características do Espodossolo coletado na área de estudo. Para isso, foi pesado 20 g de cada amostra de solo tamizado em peneira de 2 mm, em duplicata, depois colocados em frascos de plástico hermeticamente fechados e pré-incubados por 2 horas à temperatura de 25 °C. Após a pré-incubação os frascos foram abertos e foi adicionado 60 mg de substrato (glicose P.A.) e um recipiente contendo 15 ml de NaOH a 0,1 N e 10 ml de água destilada em cada amostra de solo que foram novamente fechados hermeticamente para posterior incubação por 4 horas na estufa a 25 °C. Depois do tempo de incubação foi adicionado as amostras de NaOH 0,5 ml de BaCl₂ e duas gotas de fenolftaleína para titulação com HCl a 0,1 N em bureta digital automática.

Determinação do quociente metabólico do solo (q-CO₂)

O quociente metabólico foi calculado utilizando a razão entre os resultados do C-CO₂ liberado em tempo determinado por unidade de C-microbiano respirado (RBS) pelo carbono da biomassa microbiana do solo (CBM), que representa a quantidade de C-CO₂ liberada em mg por grama de solo (mg C-CO₂/g C mic h⁻¹) Anderson & Domsch (1993).

Determinação de amônio e nitrato

Para determinação do amônio e nitrato foi utilizado método colorimétrico. Para isso o solo peneirado e seco a 105°C por 48 horas foi submetido a um processo de extração onde foi pesado 5 gramas de amostra seca em potes

plásticos e acrescentado 30 ml de KCl a 1 mol.L⁻¹. Os potes com amostras e extrator foram submetidos a agitação por 45 minutos para extração de solução salina do solo que posteriormente foi obtida por filtração. O extrato foi armazenado em frascos de 5 ml com diluída de 1:9 (0,5 ml de solução extraída e 4,5 ml de água bidestilada) e estocado sob refrigeração de 5°C. Para análise do nitrato foi transferido 125 µL de cada amostra em triplicata para as microplacas com adição de 25 mg de liga Devarda e 25 µL H₂SO₄ a 0,1 M, em seguida as placas foram seladas e incubadas a temperatura ambiente por 24 horas para promover a redução do nitrogênio. No dia seguinte foi transferido 200 µL em triplicata de cada amostra e os padrões de nitrato de potássio a 0,7 mol.L⁻¹ em novas microplacas para leitura de nitrato, acrescentado 125 µl extrativo KCl 1 mol.L⁻¹, 75 µL reativo Citrato 5% + Salicilato 2% e por último 25 µl de reativo hipoclorito de sódio a 2%. Para análise do amônio foi pipetado do extrato de 1:9 em triplicata 75 µl de amostra e transferido para as microplacas, com 100 µl solução extratante de KCl 1 mol.L⁻¹, 75 µl de reativo Citrato 5% + Salicilato 2% e 25 µl de hipoclorito de sódio a 2%

. As microplacas foram cobertas por 45 minutos para reagirem e apresentarem a coloração necessária, e depois submetidas à leitura em espectrofotômetro de fluorescência HEALES MB 580 na faixa de absorvância a 655 nm.

Determinação de Fosfato (PO₄⁻)

Para a determinação do fosfato (PO₄⁻) foi utilizado método colorimétrico. Para isso as amostras de solo foram submetidas a extração ácida, onde as amostras secadas a 105°C por 48 horas, foram pesadas tomando 5 gramas por amostra em frasco plástico com tampa de rosca em seguida, adicionou-se 30 ml de solução extratora de ácido acético a 2,5% e agitado em mesa agitadora orbital por 45 minutos e posteriormente foi obtido o extrato por filtração rápida. O extrato foi armazenado em frascos plásticos de tampa com rosca a uma diluição de 1:3 (1 ml de extrato e 3 ml de água bidestilada) sob refrigeração de 5°C. Para cada amostra foi pipetado 200 µl e transferido em triplicata para as microplacas. Cada amostra recebeu 10 µl de reativo molibdato amônico e 10 µl de cloreto de estanho. Depois disso, as placas foram cobertas e incubadas por

30 minutos até atingirem a coloração necessária para a leitura. A leitura foi feita em equipamento espectrofotômetro de fluorescência HEALES MB 580 na faixa de absorbância a 700 nm.

Determinação de umidade do solo (%), matéria orgânica (MOS) e pH

Para determinar a umidade gravimétrica do solo Embrapa (1997) foi pesado em laboratório uma alíquota de 10 g de solo úmido peneirado, recém coletado, e posterior secagem em estufa de secagem/circulação a 105°C por 72 horas. Depois disso, as amostras secas foram pesadas novamente para determinar a massa seca de solo e calculado a umidade pela fórmula:

$$\text{Umidade Gravimétrica} = 100 (a - b) / b$$

A matéria orgânica do solo (MOS) foi determinada pelo método da Calcinação “Loss of Ignition” de combustão onde as amostras foram tamisadas, em peneiras de 2mm, e pesado 5 gramas de cada amostra, em cadinhos de porcelana, previamente secas a 105°C por 24 horas e posterior queima em Mufla à 550°C por 5 horas. A escolha do método se deu devido à alta quantidade de matéria orgânica e segundo SILVA et. al. (1999) o método é adequada para amostras com quantidades superestimadas de matéria orgânica. O pH foi determinado medindo com pHmetro o potencial hidrogeniônico de amostras previamente preparadas pesando 5 gramas de solo e diluindo em 50 ml de água bidestilada.

Dados meteorológicos

As informações sobre as variáveis meteorológicas temperatura média em (°C) e precipitação média (mm) no período entre 2015 e 2016, que correspondente ao período de estudo foram obtidas a partir do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2016) e SIMEPAR (2016).

Análises estatísticas

As análises estatísticas foram feitas utilizando teste paramétrico para determinar a variância das amostras (ANOVA) de solo que foram submetidas ao teste de respiração basal (RBS) do solo e do carbono da biomassa microbiana (CBM) pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

E análise não parametrizada de componentes principais (ACP) para testar o nível de correlação multivariada entre os parâmetros nas diferentes profundidades. A primeira ACP foi feita para testar a correlação entre os parâmetros microbiológicos e as variáveis químicas do solo como pH, fosfato, nitrato e amônio nas estações outono, primavera e verão. A segunda Análise de Componentes Principais (ACP) foi feita para testar a correlação entre a Respiração Basal do Solo (RBS) e o Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) com as variáveis meteorológicas e a umidade do solo. O critério adotado para a (ACP) é que os dois componentes principais deveriam explicar no mínimo 60% das variáveis correlacionadas.

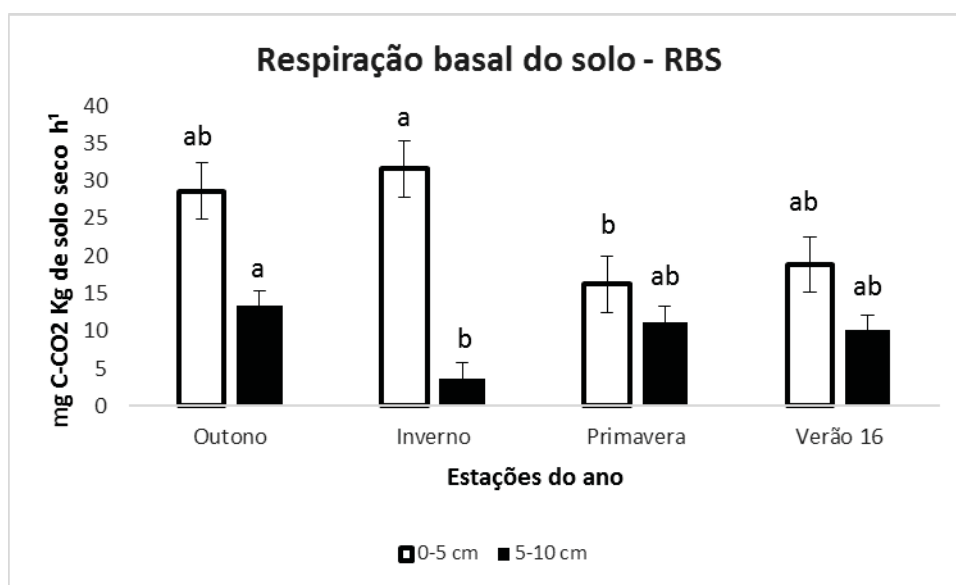
As análises foram realizadas utilizando os softwares PAST, Hammer et al. (2001) e CANOCO Versão 4.0 Ter Braak e Smilauer, (1998).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A respiração basal do solo (RBS) mostra diferentes taxas de C-CO₂ mineralizado nas diferentes profundidades entre 0-5 e 5-10 cm de profundidade, e a profundidade 0-5 apresentou maiores valores de respiração em relação as amostras 5-10 cm em todas as estações do ano (fig. 1). Considerando as médias de respiração na profundidade 0-5 cm o inverno apresentou a maior taxa de C-CO₂, seguido do outono e verão, e a menor taxa de C-CO₂ foi observado na primavera, mas considerando o teste de Duncan ($p < 0,05$) somente a primavera apresentou menor taxa de respiração. Na profundidade 5-10 cm a maior taxa de respiração foi observado no outono, seguido da primavera e verão, e a menor foi observado no inverno. Embora os resultados de Penã et. al. (2005) a respeito da respiração da serapilheira e solo na mesma área não tenham sido conclusivos, observaram que o inverno e o outono tiveram as maiores concentrações de CO₂ na fase avançada na camada F da serapilheira que é a interface com o horizonte mineral do solo. Silva et. al (2012) estudaram Floresta Ombrófila Densa Submontana (FODS) secundária e com manejo agroflorestal e observaram maior respiração basal do solo (RBS) no verão quando comparado com o inverno em floresta secundária e no inverno em dois diferentes sistemas de manejo agroflorestal. Pinto-Junior

et al. (2009) observaram correlação entre menor RBS com maior estoque de serapilheira acumulada em ecossistema amazônico, este fato pode ser considerado embora não neste trabalho não tenha sido feita a mesma correlação, pois as maiores taxas de acúmulo de serapilheira ocorreram no outono e inverno conforme capítulo 2.

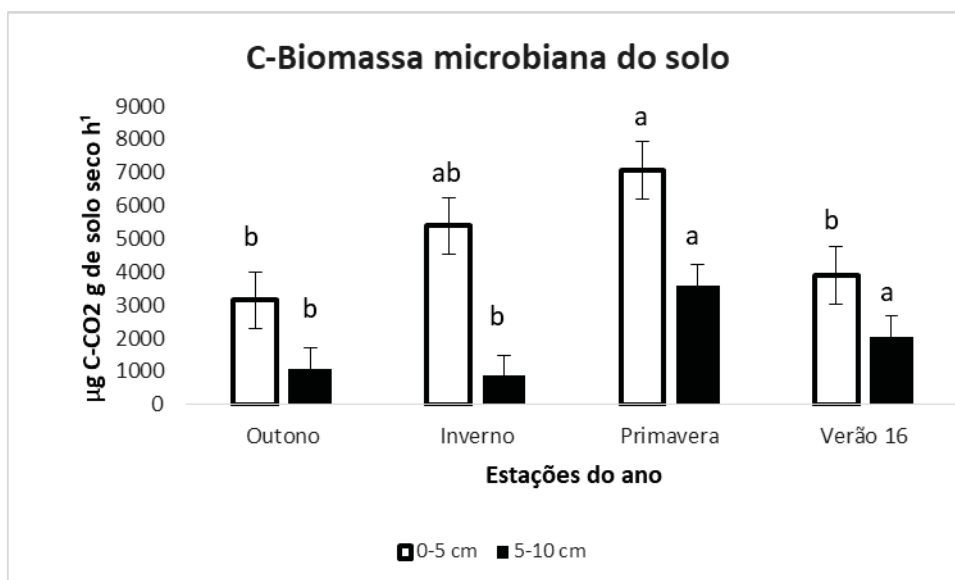
FIGURA 1. GRÁFICO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) DA MÉDIA DE RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO (RBS) NAS PROFUNDIDADES 0-5 CM E 5-10 CM PELO TESTE DE DUNCAN ($p < 0,05$).



O carbono da biomassa microbiana do solo (CBM) mostrou comportamento diferente entre as diferentes profundidades 0-5 e 5-10 cm, onde a maior CBM expressa pela concentração de C-CO₂ por respiração induzida foi observado na profundidade 0-5 cm do que 5-10 cm em todas as estações do ano (Fig. 2). Analisando separadamente o comportamento do carbono da biomassa microbiana nas profundidades 0-5 cm e 5-10 cm, observou-se que a maior concentração foi na primavera seguido do inverno e as menores concentrações foram observadas no outono e verão na profundidade 0-5 cm. Na profundidade 5-10 cm a maior concentração foi observado na primavera seguido do verão, e as menores concentrações foram no inverno e no outono. Em Floresta Ombrófila Densa Submontana secundária Silva et. al (2012) observaram maior carbono da biomassa microbiana (CBM) no verão, provavelmente por causa da maior precipitação. Devi e Yadava (2006) ao avaliarem a influência dos fatores abióticos em dois sistemas

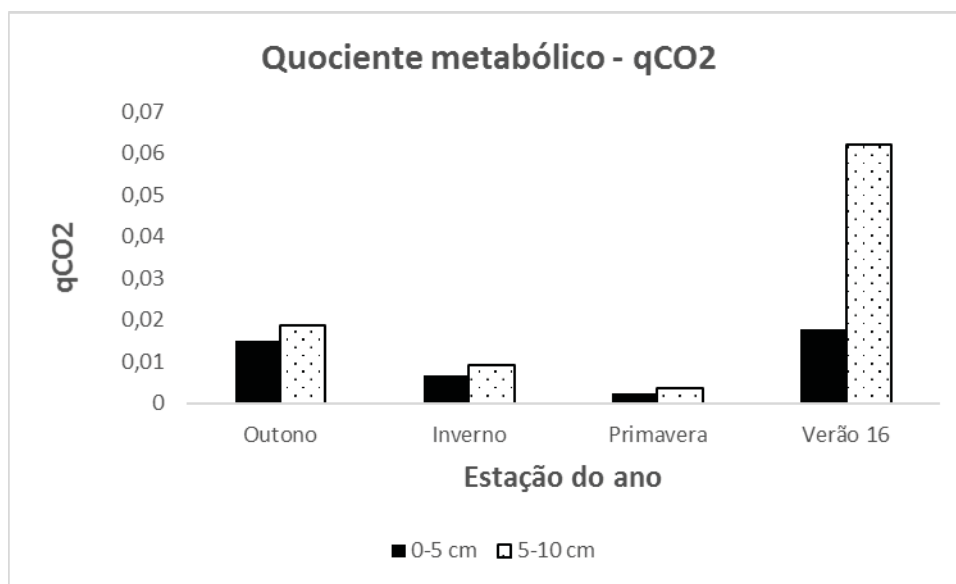
florestais observaram que o carbono da biomassa microbiana (CBM) varia sazonalmente, onde na estação chuvosa o CBM é maior do que no inverno que é mais seco.

FIGURA 2. GRÁFICO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) DA MÉDIA DO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA (CBM) NAS PROFUNDIDADES 0-5 CM E 5-10 CM PELO TESTE DE DUNCAN ($p < 0,05$).



Comparando as médias do quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) observou-se que as maiores taxas ocorreram na profundidade 5-10 cm em relação a 0-5 cm em todas as estações do ano. O verão apresentou o maior $q\text{CO}_2$ nas duas profundidades. O verão apresentou o maior $q\text{CO}_2$ na profundidade 5-10 cm comparando a profundidade e a estação do ano. O outono apresentou o segundo maior índice e os menores foram observados na primavera e inverno. Este índice é um indicador indireto da eficiência de carbono da biomassa microbiana onde se perde menos carbono na forma de C-CO_2 respirado, então, considerando isto, o verão indicou que foi a estação com a menor perda de carbono do solo via respiração, incorporando mais carbono à biomassa microbiana, principalmente na profundidade 5-10 cm Dionísio et al. (2016); Dadalto et al. (2015).

FIGURA 3. GRÁFICO DAS MÉDIAS DO QUOCIENTE METABÓLICO (qCO_2) DO SOLO NAS PROFUNDIDADES 0-5 CM E 5-10 CM.



Análise de Componentes Principais

A Figura 4 apresenta uma Análise de Componentes Principais (ACP) na profundidade 0-5 cm com duas componentes principais CP1 e CP2, que juntas explicaram 67% da correlação entre os atributos microbiológicos do solo, respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana (CBM) e quociente metabólico do solo (qCO_2), e as variáveis químicas, fosfato, nitrato, amônio e pH nas estações outono, primavera e verão. A componente principal 1 (CP1) explicou 40% da variância e mostrou que a maior taxa de respiração basal do solo (RBS) ocorreu no outono e as menores RBS ocorreram no verão e primavera. Esta componente também mostrou que a maior RBS está associada a maior produção de nitrato, amônio e maior qCO_2 no outono, e a menor produção na primavera e verão, o que pode indicar menor perda de carbono no outono na profundidade 0-5 cm. A maior produção de fosfato foi no verão.

A componente principal 2 (CP2) explicou 27% da variância e mostrou que o pH de maneira geral não teve uma boa correlação com as variáveis microbiológicas mas foi maior na primavera, e este fato se deve a baixa variação do pH nas diferentes estações do ano. A ACP 2 também mostrou que o CBM foi maior na primavera e verão, e isto indica o potencial de reserva de

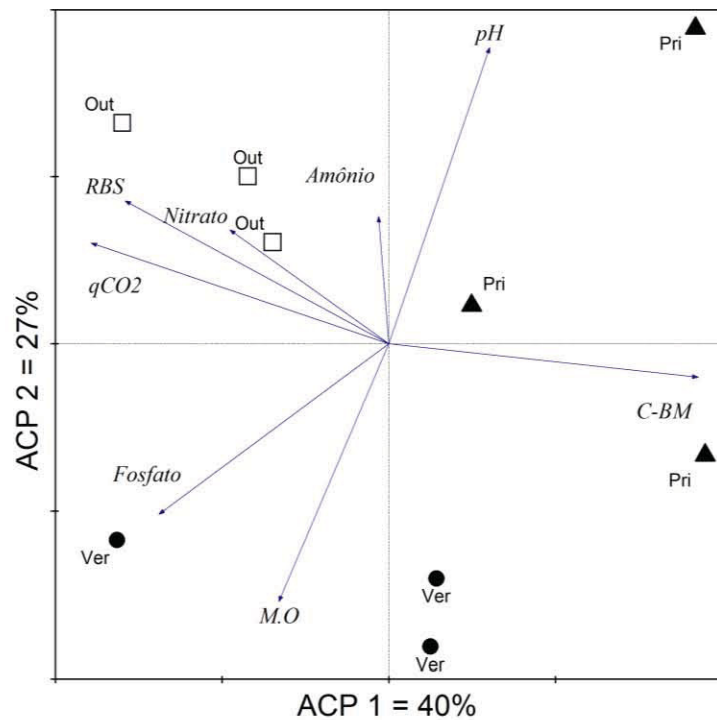
carbono no solo que participará em processos de humificação na profundidade 0-5 cm.

A figura 4 b mostra a Análise de Componentes Principais (ACP) na profundidade 5-10 cm com duas componentes principais CP1 e CP2, que juntas explicaram 60% da correlação entre os atributos microbiológicos do solo, respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana (CBM) e quociente metabólico do solo (qCO_2), e as variáveis químicas, fosfato, nitrato, amônio e pH nas estações outono, primavera e verão. A componente principal 1 (CP1) explicou 32% da variância e mostrou que a maior taxa de respiração basal do solo (RBS) ocorreu principalmente na primavera e se correlacionou com a produção de nitrato e amônio. A maior produção de fosfato ocorreu no outono e se correlacionou com o pH, ou seja, a produção de fosfato se correlacionou com as amostras de solos com maior pH do solo, que foi no outono. A componente principal 2 (CP2) explicou 28% da variância e mostrou maior CBM também na primavera e verão e se correlacionou com a matéria orgânica (M.O). O qCO_2 se correlacionou mais com a produção de nitrato na primavera e no verão que foram as estações com mais matéria orgânica (M.O).

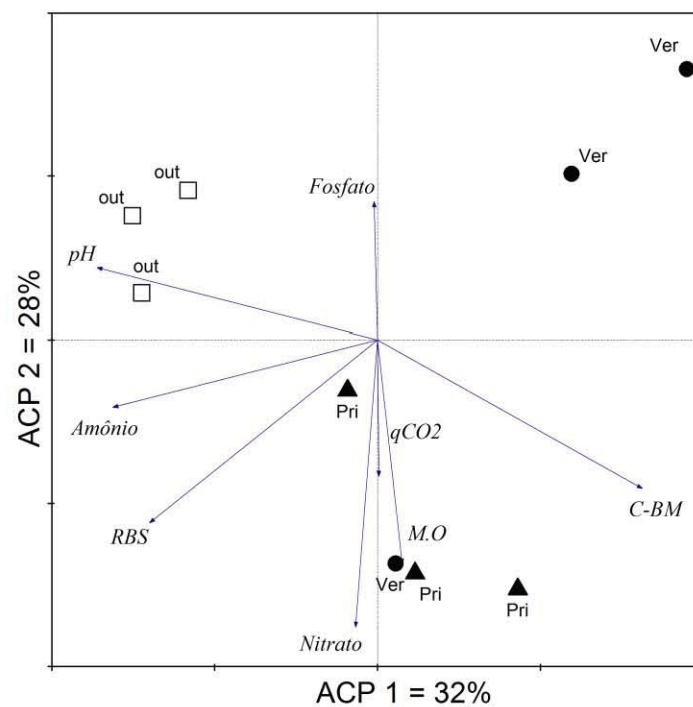
De maneira geral a maior (RBS) ocorreu no outono e mostrou correlação com a produção de nitrato de amônio. E o (CBM) foi maior na primavera e verão. A maior (CBM) na primavera e verão pode ter relação com o período de maior precipitação pois, conforme Gama-Rodrigues et. al (2005) mostraram que a umidade do solo teve uma alta porcentagem de explicação da variação da (CBM) além da acumulação de carbono e mineralização do nitrogênio do solo por meio de modelos multivariados. Baretta et. al (2008) observaram correlação positiva entre os atributos microbiológicos C-CO₂ e CBM com os atributos químicos fósforo (P) e carbono orgânico total (COT) em solos sob Floresta Ombrófila Mista em diferentes níveis de uso antrópico. Além disso, a variação temporal da (RBS) pode ser explicada pela temperatura do solo nos primeiros centímetros e taxa de decomposição da serapilheira Xiao, et al. (2014).

FIGURA 4. GRÁFICO DE ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP) MOSTRANDO CORRELAÇÃO ENTRE A RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO (RBS), CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA (CBM) E QUOCIENTE METABÓLICO (qCO_2) E ATRIBUTOS QUÍMICOS COMO O FOSFATO, NITRATO, AMÔNIO E pH NAS DUAS PROFUNDIDADES DO SOLO a) PROFUNDIDADE 0-5 CM E b) PROFUNDIDADE 5-10 CM.

a)



b)



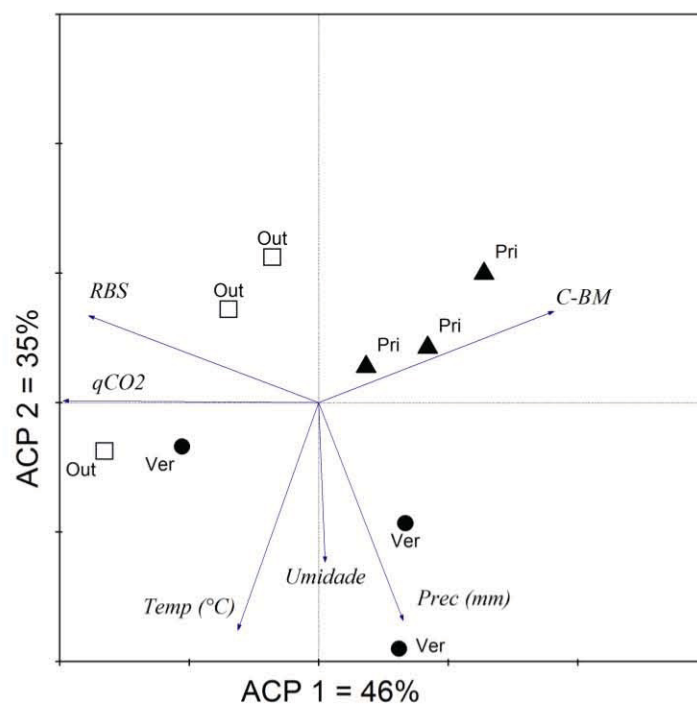
A figura 5 A mostra a Análise de Componentes Principais (ACP) na profundidade 0-5 cm com duas componentes principais CP1 e CP2, que juntas explicam 81% da correlação entre os atributos microbiológicos do solo, respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (qCO_2) e as variáveis meteorológicas, média de precipitação (mm) e temperatura média ($^{\circ}C$) além da umidade do solo em porcentagem nas diferentes estações do ano. A Componente Principal 1 (CP1) explicou 46% da variância e mostrou que as maiores taxas de RBS e maior qCO_2 ocorreram no outono, indicado pelos maiores autovalores para estas variáveis. A (RBS) foi maior em períodos de menor umidade do solo e menor precipitação média (mm) que ocorreram com maior intensidade no verão. A Componente Principal 2 (CP2) explicou 35% da variância e mostrou que a CBM ocorreu na primavera no período de menor RBS, e mostrou fraca correlação com a umidade do solo e precipitação média.

A figura 5 B mostra a Análise de Componentes Principais (ACP) na profundidade 5-10 cm com duas componentes principais CP1 e CP2, que juntas explicam 70% da correlação entre os atributos microbiológicos do solo, respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico (qCO_2) e as variáveis meteorológicas, média de precipitação (mm) e temperatura média ($^{\circ}C$) além da umidade do solo em porcentagem nas diferentes estações do ano. A Componente Principal 1 (CP1) explicou 42% da variância onde a (CBM) foi maior em períodos de maior precipitação e temperatura média, nos períodos de primavera e verão, onde a (RBS) foi menor, mostrando a relação inversa entre a respiração do solo e o carbono da biomassa microbiana. Além disso, o período de maior precipitação foi coerente com o maior qCO_2 no verão. A Componente Principal 2 (CP2) explicou 28% da variância mostrou que o outono foi a estação com a maior RBS. De maneira geral, a RBS foi maior no outono no período de menor precipitação e temperatura média, e a umidade foi muito parecida durante o ano, mas pode-se inferir que períodos de menor precipitação oportunizam a respiração do solo devido a menores períodos de inundação do solo devido ao afloramento do lençol freático que é muito raso em Espodossolo sob a restinga.

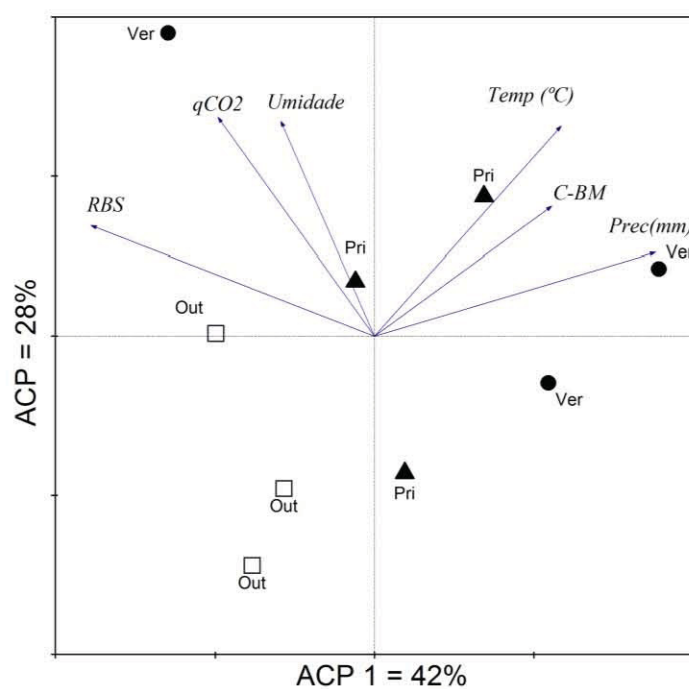
Thokchom e Yadava et al. (2014) encontraram relação entre o fluxo de CO₂ e a umidade do solo e temperatura em ecossistemas florestais. Assim como Cook e Orchard (2008) relacionaram água no solo com teores de repiração do solo. Devi e Yadava (2006) observaram correlação positiva entre a CBM e a umidade, temperatura do solo e precipitação. Mas o aumento da temperatura média do ar pode aumentar a respiração e consequente mineralização do nitrogênio e carbono na Mata Atlântica na costa do sul do Brasil Villela et al. (2012). Gama-Rodrigues et. al (2005) ao estudarem plantios de eucaliptos observaram que a precipitação pluviométrica conjugado ao carbono e nitrogênio orgânico total do solo mostrou-se preditivo a variação da biomassa microbiana, além da influência da umidade do solo e outras características edáficas sobre (CBM). Villela et. al (2012) observaram correlação positiva entre as taxas de perda de C-CO₂ do solo com o aumento da temperatura atmosférica, na Mata Atlântica, em gradiente altitudinal a partir de 100 m de altitude. Pietikainen et. al (2005) observaram aumento da atividade respiratória do solo, principalmente bacteriana, em função do aumento da temperatura do solo. Yueste et. al (2017) encontraram relação direta entre aumento da respiração heterotrófica do solo com o aumento da temperatura em diferentes condições ambientais.

FIGURA 5. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP) MOSTRANDO CORRELAÇÃO ENTRE A RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO (RBS), CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA (CBM), TEMPERATURA MÉDIA ($^{\circ}\text{C}$), PRECIPITAÇÃO MÉDIA (mm) E UMIDADE DO SOLO ($\% \text{H}_2\text{O}$ NO SOLO) NAS DUAS PROFUNDIDADES DO SOLO a) PROFUNDIDADE 0-5 CM E b) PROFUNDIDADE 5-10 CM.

a)



b)



4. CONCLUSÕES

A média geral da RBS foi maior na profundidade 0-5 em relação a profundidade 5-10 cm em todas as estações do ano. Na profundidade 0-5 cm o inverno apresentou a maior taxa de C-CO₂, seguido do outono e verão, e a menor taxa de C-CO₂ foi observado na primavera. Na profundidade 5-10 cm a maior média foi observado no outono primavera e verão e a menor no inverno.

A CBM teve comportamento diferente entre as diferentes profundidades 0-5 e 5-10 cm, onde a maior concentração foi observado na profundidade 0-5 cm em todas as estações do ano. A maior CBM foi na primavera e inverno, e a menor foi no outono e verão na profundidade 0-5 cm. Na profundidade 5-10 cm foi maior na primavera e verão e menor no inverno e outono.

O quociente metabólico (qCO₂) foi maior no verão na profundidade 5-10 cm.

A análise de componentes principais (ACP) mostrou que o outono na profundidade 0-5 cm e 5-10 cm teve a maior RBS e se correlacionou com a produção de nitrato e amônio em períodos de menor precipitação (mm) e temperatura média (°C). A maior CBM foi na primavera e no verão e mostrou maior correlação com a precipitação, temperatura média e umidade do solo com produção de fosfato e mais matéria orgânica (M.O), principalmente na profundidade 5-10 cm.

De forma geral, a RBS e a CBM apresenta diferença nas duas profundidades estudadas, mostrando coerência com as condições meteorológicas impostas nas diferentes estações do ano. Fica perceptível a relação entre a produção de nitrato em períodos de menor encharcamento do solo como no outono, onde há maior RBS. E maior CBM em períodos de encharcamento do solo, devido as menores taxas de respiração edáfica.

5. REFERÊNCIAS

- ALEF, K. Soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. Academic Press. London, 1995.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMISCH, K. H. Quantities of plants nutrients in the microbial biomass of selected soils. **Soil Science**. v. 130, n. 4. 1980.
- BARETTA, D.; BARETTA, C. R. D. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Análise multivariada de atributos microbiológicos e químicos do solo em florestas com *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, n. Especial. 2008.
- BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; FIGUEIREDO, S. R.; KLAUBERG-FILHO, O. Efeito do monocultivo de Pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no planalto sul catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.29, p. 715-724. 2005.
- BIGARELLA, J. J. **A Serra do mar e a porção oriental do estado do Paraná**. Curitiba: Governo do Estado do Paraná - ADEA, 1978.
- BRAGA, R. M.; SOUSA, F. F.; VENTURIN, N.; BRAGA, F. A. biomassa e atividade microbiana sob diferentes coberturas florestais. **CERNE**. v. 22, n. 2, p. 137-144. 2016.
- COOK, F. J.; ORCHARD, V. A. Relationships between soil respiration and soil moisture. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 40. 1013–1018 p. 2008.
- DADALTO, J. P.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; MATOS, A. T. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**. v. 35, n. 3. 506- 513 p. 2015.
- DEVI, N. B.; YADAVA, P. S. Seasonal dynamics in soil microbial biomass C, N and P in a mixed-oak forest ecosystem of Manipur, Northeast India. **Applied Soil Ecology**. v. 31, n. 3. March, 2006.

DIONÍSIO, J. A.; PIMENTEL, I. C.; SIGNOR, D.; DE PAULA, A, M.; MACEDA, A.; MATTANA, A. L. **Guia prático de biologia do solo**. SBCS/NEPAR. Curitiba, 2016.

EMBRAPA/CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 1999.

EMBRAPA/CNPS. **Manual de métodos de análise de solo**. 2^a. ed. rev. Rio de Janeiro, 1997.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 29, p. 893-901. 2005.

HAMMER, O.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P. D. **Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis**. Paleontological Data Analysis. Blackwell. 2001. PAST.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 10 out. 2016.

PEÑA, M. L.; MARQUES, R.; JAHNEL, M. C.; DOS ANJOS, A. Respiração microbiana como indicador da qualidade do solo em ecossistema florestal. **Floresta**. v.35, n. 1, jan./abr. 2005.

PIETIKAINEN, J.; PETTERSSON, M.; BAATH, E. Comparison of temperature effects on soil respiration and bacterial and fungal growth rates. **FEMS Microbiology Ecology**. v. 52. 2005.

PINTO-JUNIOR, O. B.; SANCHES, L.; DALMOLIN, A. C.; NOGUEIRA, J. S. Efluxo de CO₂ do solo em floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de pastagem. **Acta Amazonica**. v. 39, n. 4. 813 – 822 p. 2009.

SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; ABREU JR., J. S. métodos de quantificação da matéria orgânica do solo. **Revista da Universidade de Alfenas**. v. 5, 1999.

SILVA, M. S. C.; SILVA, E. M. R.; PEREIRA, M. G.; SILVA, C. F. Estoque de Serapilheira e Atividade Microbiana em Solo sob Sistemas Agroflorestais. **Floresta e Ambiente**. v. 19, n. 4 out./dez. 2012.

SILVA, W. M.; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; TIEPPO, R. C.; CARVALHO, J. M.; LONGO, L.; FERRI, M.; MAGALHÃES, W. A. Emissão de CO₂ e potencial de conservação de C em solo submetido à aplicação de diferentes adubos orgânicos. **Revista Agrarian**. v. 3, n.7. p.34-43, 2010.

SISTEMA METEOROLÓGICO DO PARANÁ - SIMEPAR. Banco de dados meteorológicos do SIMEPAR. Disponível em: <<http://www.simepar.br/>> Acesso em 10 jan. 2017.

TER BRAAK, C. J. F.; SMILAUER, P. **CANOCO Reference manual and user's guide to Canoco for Windows: Software for canonical community ordination (version 4)**. Microcomputer Power. New York. 1998.

THOKCHOM, A.; YADAVA, P. S. **Soil CO₂ flux in the different ecosystems of North East India: In: Carbon Utilization: Applications for the Energy Industry**. Ed. Springer. 2017.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 24, n. 1. Jan/mar. 2000.

VILLELA, D. M.; MATTOS, E. A.; PINTO, A. S.; VIEIRA, S. A.; MARTINELLI, L. A. Carbon and nitrogen stock and fluxes in coastal Atlantic Forest of southeast Brazil: potential impacts of climate change on biogeochemical functioning. **Brazilian Journal of Biology**. vol. 72, n. 3 (suppl.), p. 633-642. 2012.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. IBGE - Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro, 124p.1991.

XIAO, W.; GE, X.; ZENG, Z.; LEI, J.; ZHOU, B.; LI, M. Rates of litter decomposition and soil Respiration in relation to soil temperature and water in

diferente-aged *Pinus massoniana* forests in the Three Gorges Reservoir Area, China. **PLOS ONE**. v. 9, n. 7. 2014.

YUESTE, J. C.; HERES, A. M.; OJEDA, G.; PAZ, A.; PIZANO, C.; GARCÍA-ÂNGULO, D.; LASSO, E. Soil heterotrophic CO₂ emissions from tropical high-elevation ecosystems (Paramos) and their sensitivity to temperature and moisture fluctuations. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 110. 2017.

CAPÍTULO 5: MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO NO SOLO SOB FLORESTA OMBRÓFILA DENSE DAS TERRAS BAIXAS, EM PARANAGUÁ, PR.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi compreender a dinâmica da mineralização do nitrogênio do solo, nas diferentes estações do ano, em Espodossolo sob Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, no litoral do Paraná. Para isso, foram feitos dois ensaios de mineralização do nitrogênio, um aeróbico e outro anaeróbico, com amostras de solo coletadas nas profundidades 0-5 e 5-10 cm. No ensaio anaeróbico as amostras de solo foram submetidas ao processo de incubação/extração em período sequencial de 0, 15, 30, 45, 60 e 75 dias, sendo a incubação feita com solução nutritiva, em estufa a 30 °C; a extração de nitrogênio inorgânico com soluções de KCl; e as determinações de N inorgânico por leitura em espectrofotômetro UV-Vis a 210 nm (nitrato) e pelo método do endofenol (amônio). No ensaio aeróbico as amostras foram secadas a 30° C, sendo feita uma primeira extração de N inorgânico com soluções de KCl. Depois disso, as amostras foram umedecidas a 30% e incubadas a 19,8 °C em câmara fitoclimática por 15 dias. Diariamente foi feita leitura de respiração do solo e, ao final, foi feita nova extração com KCl. Alíquotas dos dois extratos obtidos foram então transferidas para microplacas para leitura de nitrato e amônio. A mineralização do N no solo mostrou-se influenciada pelas variáveis meteorológicas e pela umidade do solo. Enquanto temperaturas mais elevadas favoreceram a atividade microbológica, a umidade do solo, quando excessiva, resulta em menor nitrificação e maior amonificação. A profundidade do solo teve efeito significativo sobre a mineralização do N, com os maiores valores observados na superfície, onde os teores de carbono são mais elevados. Os ensaios de mineralização aeróbico e anaeróbico mostraram-se como ferramentas importantes para a identificação do efeito estacional, que impõem diferentes condições físicas, e influenciam a mineralização do N no solo nas diferentes profundidades coletadas.

PALAVRAS-CHAVE: Mineralização do carbono; Respiração do solo; Amonificação; Nitrificação; Processo de mineralização.

ABSTRACT

The seasonal effect direct processes of mineralization in the soil and the understanding of this dynamics in the different edaphic conditions imposed by the seasonality are important for the understanding of the dynamics of the nitrogen mineralization. So, the objective of this work was to understand the dynamics of soil nitrogen mineralization in the different seasons of the year in Spodosol under Atlantic Rainforest Dense Ombrophylous of the Lowland in the Paraná state coast. For this, two nitrogen mineralization tests, one aerobic and one anaerobic, were performed at depths 0-5 and 5-10 cm in Spodosol under Dense Ombrophylous Lowland. The anaerobic assay was conducted with soil samples collected in the different seasons of the year and incubated with a nutrient solution in an oven at 30 °C in a period of 0, 15, 30, 45, 60 and 75 days

with ammonium and nitrate reading for each stratum by The endophenol method. In the aerobic assay the samples were dried at 30 ° C and the solutions were extracted with KCl. Thereafter the samples were moistened to 30% and incubated at 19.8 ° C in a phyto-climatic chamber for 15 days. The soil respiration was read daily and the samples were extracted. The initial strata, before incubation, and final, after incubation, were analyzed to determine ammonium and nitrate in microplates. The results showed that the potentially mineralizable N is important higher in the summer and lower no winter at both depths. The mineral nitrogen accumulated at depth 0-5 cm in the period of 75 days was higher no summer followed by autumn and the smaller was winter and spring. At depth 5-10 cm It was the world's widest of N followed by the season and smaller ones were also winter and spring. The aerobic and anaerobic mineralization tests were important tools for the identification of the seasonal effect, which impose different physical conditions, and influence the N mineralization in the soil at the different depths collected.

KEYWORDS: Carbon mineralization; Soil respiration; Ammonification; Nitrification; Mineralization process.

1. INTRODUÇÃO

A entrada do nitrogênio no ciclo biológico ocorre via N atmosférico (Schlensinger, 1997). E a ciclagem do nitrogênio ocorre principalmente ao nível do solo onde os microrganismos participam ativamente do processo de mineralização do N da matéria orgânica (Moreira & Siqueira, 2006). A matéria orgânica do solo (MOS) é a principal fonte de carbono e nitrogênio nos ecossistemas florestais; e a capacidade de mineralização do N está diretamente relacionada com a qualidade da matéria orgânica depositada no solo florestal. O N potencialmente mineralizável é definido como a fração do N orgânico do solo suscetível à mineralização (Camargo et al., 1997), sendo que parte do N inorgânico mineralizado pode ser novamente imobilizado em formas orgânicas. Assim, o N mineralizado é o saldo líquido entre mineralização e a imobilização de N (Quan et al., 2014). Na mineralização do N, as formas orgânicas do nitrogênio são convertidas em amônio (NH_4) e depois em nitrato (NO_3) via nitrificação por bactérias nitrificantes (Moreira & Siqueira, 2006; Quan et al., 2014). O aumento das concentrações de N inorgânico no solo, que ocorre quando a demanda de N por microrganismos é reduzida, representa a mineralização líquida (Schlesinger, 1997); e a produção do NO_3 tende a ser maior em solos com maior disponibilidade de oxigênio; e tende à desnitrificação em condições anóxicas do solo. A desnitrificação é o processo de redução

biológica do nitrato ou nitrito para N_2O , NO ou N_2 ; e ocorre simultaneamente ao processo de mineralização do N-orgânico do solo, sendo uma das principais vias de perda de nitrogênio do solo (Bouwmann, 1998). A velocidade de mineralização é atribuída à labilidade e recalcitrância da matéria orgânica do solo. Então, as características edáficas, climáticas e microbiológicas do solo são fatores que ditam o fluxo e velocidade de mineralização do N (Yagi et al, 2009). Por isso, as variáveis ambientais como temperatura, umidade e precipitação média podem mostrar correlação com as taxas de mineralização líquida do nitrogênio e processos de desnitrificação (Morse et al., 2014; Morse et al., 2015; Durán et al., 2016). Pois umidade e sazonalidade influenciam diretamente a mineralização do carbono e do nitrogênio (Parron et al., 2003). A temperatura, a precipitação e a deposição de material no piso da floresta podem direcionar modelos de mineralização líquida do nitrogênio (Chapman et al, 2013). A respiração do solo e a mineralização do N apresentam fortes padrões sazonais que refletem mudanças na temperatura do solo (Contosta et al, 2011). Segundo Butler et al. (2011), a mineralização e a nitrificação líquida do N pode ser alterada com o aquecimento do solo, modificando a atividade biológica e consequente mineralização; e com isto a disponibilidade de NO_3 pode ser alterada e as taxas de crescimento das árvores também.

Pouco se sabe sobre a cinética e potencial de mineralização de N em ecossistemas florestais naturais (Gonçalves et al, 2001). Ainda são poucos os trabalhos que avaliam a mineralização do N em florestas naturais neotropicais (Carvalho, 2011; Blum, 2014; Woiciechowski, 2015; Medeiros, 2015). Mais estudos são necessários de forma a abranger a grande diversidade de formações florestais existentes nas regiões tropicais e subtropicais. Pois as taxas líquidas de mineralização do N são influenciadas pela vegetação (Pereira et al, 2011); e o entendimento do fluxo de nitrogênio nos solos e de sua relação com a vegetação, em ambientes florestais, podem gerar conhecimento sobre este importante serviço ecossistêmico das florestas (Carrillo et al, 2011).

A ciclagem do N nestas florestas precisa ser conhecida, de forma que se possa compreender melhor os fatores envolvidos na mineralização do N no solo, processo responsável pela disponibilização deste elemento essencial à nutrição florestal.

Desta forma, o objetivo aqui foi avaliar a dinâmica da mineralização do nitrogênio, em Espodossolo sob Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, no litoral do Paraná.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Na área de estudo, já descrita no capítulo 1, foram coletadas amostras de solos nas profundidades 0-5 e 5-10 centímetros. As coletas foram realizadas em cinco pontos distintos, ao longo de um transecto de 250 metros, ao final de cada estação climática, entre o outono de 2015 e o verão de 2016. O transecto foi instalado seguindo o protocolo RAPELD do PPBio, onde 25 pontos, a cada 10 metros, foram marcados, obedecendo a curva de nível do terreno. Embora inicialmente tenham sido demarcados 5 pontos de coleta, no total, foram coletadas 4 amostras para ensaio de mineralização nas diferentes profundidades. Isto porque um dos pontos de coleta se situava em parte mais baixa do terreno (com acúmulo de água), no intercordão marinho, o que afetou os resultados analíticos de nitrato e amônio.

Ensaio de Mineralização

Ensaio anaeróbico de mineralização do N

O ensaio de mineralização anaeróbico do N foi realizado utilizando o método descrito por Waring e Bremner (1964); com coleta e preparo de amostras de solo adaptado.

As amostras de solo coletadas na floresta foram imediatamente transportadas para o laboratório e mantidas em local fresco; e, num período menor do que 6 horas após coleta, foram tamisadas em peneira de 2 mm. Em seguida, foram retiradas duas subamostras: uma subamostra de 10 g para determinação da umidade; e outra, com auxílio de um caximbo metálico de 8 cm³, para o ensaio de mineralização anaeróbica. No Laboratório de Biogeoquímica (LAB) da UFPR, cada subamostra retirada com o caximbo metálico foi colocada em tubo Falcon para centrifuga de 50 ml, sendo então adicionados 30 mL de solução extratora de KCl 2 mol L⁻¹. Após 24 horas de

contato do solo com a solução extratora, as amostras foram agitadas orbitalmente por 45 minutos e centrifugadas por 10 minutos a uma velocidade de 2000 rpm. As amostras centrifugadas foram filtradas em filtro de filtração rápida, previamente lavados com 20 mL de solução de KCl 2 mol L⁻¹ e em seguida por triplice lavagem com 20 mL de água deionizada, para eliminar resíduos de amônio e nitrato que eventualmente pudessem contaminar os filtros (Mulvaney, 1996). Essa primeira extração de NO₃ e NH₄ foi denominada de ponto zero (0 dias) e as extrações seguintes, após incubação, foram feitas a cada quinze dias até 75 dias de incubação. Para a incubação, em cada tubo Falcon, foram adicionados 30 mL de solução nutritiva contendo Na₃PO₄ (0,005 mol L⁻¹), MgSO₄ (0,002 mol L⁻¹) e CaCl₂ (0,005 mol L⁻¹). Passados 15 dias de incubação, adicionou-se 5,2 g de KCl (sal anidro) na solução nutritiva dos tubos, de forma a se obter uma solução extratora de KCl 2 mol L⁻¹. Em seguida, os tubos foram agitados e centrifugados conforme procedimento realizado para o ponto zero. Sempre após a extração, a solução nutritiva foi novamente adicionada em cada tubo, e o processo foi realizado até os 75 dias de incubação, totalizando 6 extrações.

Para determinar amônio, foram feitas leituras no espectrofotômetro Shimadzu UV/VIS Mini 1240, em comprimento de onda de 640 nm, conforme metodologia da APHA (1995). As amostras foram preparadas diluindo-se 1 mL do extrato em 0,2 mL de solução alcoólica de fenol, 0,2 mL de solução de nitroprussiato sódico, 0,5 mL de solução oxidante, sendo completado o volume de 10 mL com água deionizada. Aguardou-se 1 hora para o desenvolvimento da cor e em seguida as amostras foram submetidas à leitura.

Para determinação do nitrato, foi utilizado método de redução química das amostras (utilizando-se zinco metálico) para leitura por UV/VIS a 210 nm, (Heinzmann et al., 1984). Para preparo das amostras, diluiu-se em duplicata 5 mL do extrato em 0,8 mL de H₂SO₄ e completou-se com água deionizada para volume de 10 mL. Em uma das amostras adicionou-se 0,1 g de zinco metálico para redução do nitrato a amônio. Após 24 horas de redução com zinco metálico, foram feitas as leituras das duas amostras: uma com zinco e outra sem zinco, em espectrofotômetro Shimadzu UV Mini 1240 a 210 nm. A

diferença dos valores de leitura nas amostras, com e sem zinco metálico, expressa o teor de nitrato na solução extratora.

O cálculo para estimar o nitrogênio potencialmente mineralizável (NPM) foi obtido pela soma dos valores de N-NH_4 e N-NO_3 , de todas as extrações realizadas (aos 0, 15, 30, 45, 60 e 75 dias de incubação).

Ensaio aeróbico de mineralização do N

O ensaio de mineralização aeróbica do N foi realizado no laboratório de Ecologia Terrestre do Centro de Ecologia Funcional (Departamento de Ciências da Vida) da Universidade de Coimbra em Portugal, durante estágio “sandwich”. Para isso, as amostras de solo, coletadas no Brasil, foram tamisadas em peneira de 2 mm e secas a 30°C por até 76 horas, sendo então embaladas em sacos plásticos e transportadas com licença sanitária internacional para transporte de amostras de solo em processo de exportação de material fitossanitário. No laboratório da universidade de Coimbra, para a determinação do N inorgânico inicial no solo, foram pesados 5 gramas das amostras do material coletado no outono e na primavera, as quais foram transferidas para potes plásticos, sendo acrescentados 30 mL de KCl 1mol L⁻¹. Em seguida, foi realizada agitação por 45 minutos, sendo o extrato obtido colocado em frascos de 5 mL com diluição de 1:9 (0,5 mL de solução extraída e 4,5 mL de água bidestilada), os quais foram estocados sob refrigeração a 5°C para posterior análise.

Para o ensaio de incubação, foram pesadas alíquotas de 5 g das mesmas amostras de solo, das estações outono e primavera, as quais foram umedecidas para atingir uma umidade do solo de 30 % de massa. Os frascos com as amostras foram cobertos com filme plástico poroso de PVC e incubadas por 15 dias em câmara fitoclimática da marca Aralab a 19,8°C e 78,5% de umidade constantes. Após 24 horas de incubação, foram feitas leituras diárias da taxa de respiração, medindo-se o C-CO₂ no período da manhã, com equipamento portátil IRGA (Infra Red Gas Analyzer) EGM 4 pp Systems. Após leitura diária da taxa de respiração, a umidade de cada amostra foi corrigida conforme necessidade. Ao final do período de 15 dias, foi calculado o C-CO₂ acumulado ao longo do período; e as amostras foram

submetidas à extração com KCl 1 mol.L⁻¹, seguindo o mesmo procedimento de extração descrito anteriormente.

Para análise do nitrato inicial e final, foram transferidos, em triplicata, 125 µL de cada amostra ou extrato diluído (9:1) para as microplacas com adição de 25 mg de liga Devarda e 25 µL de H₂SO₄ a 0,1 mol.L⁻¹, sendo, em seguida, as placas seladas e incubadas à temperatura ambiente por 24 horas, para promover a redução do nitrogênio. No dia seguinte, foi transferido 200 µL de cada amostra e solução padrão de nitrato de potássio 0,7 mol.L⁻¹, em triplicata, para novas microplacas, acrescentado-se 125 µL de KCl 1 mol.L⁻¹, 75 µL de Citrato 5% + Salicilato 2% e, por último, 25 µL de hipoclorito de sódio 2% (Figura 2b).

Para análise do amônio, foram pipetados do extrato diluído (1:9), em triplicata, 75 µL de amostra e padrão de cloreto de amônio 0,7 mol.L⁻¹, sendo o líquido transferido para as microplacas, as quais receberam, então, 100 µL de KCl 1 mol/L⁻¹, 75 µL de Citrato 5% + Salicilato 2% e 25 µL de hipoclorito de sódio a 2%. As microplacas foram, posteriormente, cobertas por 45 minutos para reagirem e apresentarem a coloração necessária, e depois submetidas à leitura em espectrofotômetro de fluorescência HEALES MB 580 na faixa de absorbância a 655 nm (Figura 2a).

FIGURA 1. a) CÂMARA FITOCLIMÁTICA ARALAB. b) IRGA (INFRA RED GAS ANALYZE) EGM 4 PP SYSTEMS.

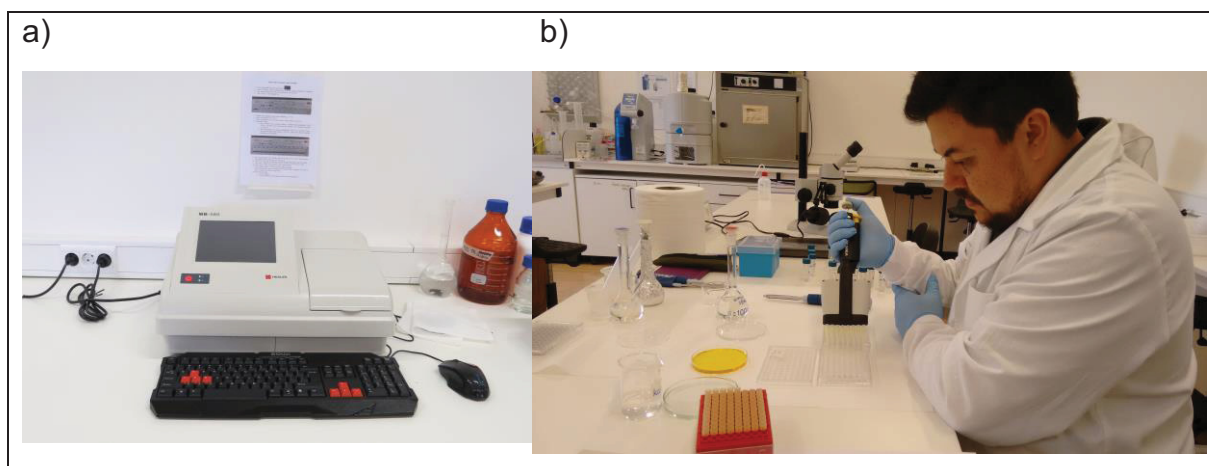
a)



b)



FIGURA 2. a) ESPECTROFOTÔMETRO DE FLUORESCÊNCIA HEALES MB 580. b) PREPARO DE MICROPLACAS.



Para obtenção do N inorgânico, tanto inicial como final (obtido após incubação por 15 dias), foram somados os resultados das leituras de N-NH_4^+ e N-NO_3^- . A taxa de nitrificação foi considerada como o nitrato inicial menos o nitrato final, e a taxa de amonificação foi considerada como o amônio inicial menos amônio final.

Análises estatísticas

A análise estatística foi feita utilizando teste paramétrico para determinar a variância das taxas líquidas do nitrogênio potencialmente mineralizável do solo nas diferentes estações e nas profundidades 0-5 cm e 5-10 cm, gerados pelo ensaio anaeróbico de mineralização. Para isso foi aplicado o teste de Duncan ($p < 0,10$) utilizando o software PAST (Hammer et al., 2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ensaio anaeróbico, a dinâmica de mineralização do N inorgânico, na profundidade 0-5 cm mostrou picos distintos de mineralização conforme a estação do ano. No verão, observou-se um pico máximo de mineralização aos 30 dias no verão, o qual foi superior aos observados na primavera e outono; estações para as quais os picos máximos foram observados aos 15 dias de incubação. Para estas estações do ano, após os picos máximos acima

indicados, observa-se uma diminuição gradual dos valores de N mineralizados até os 75 dias de incubação. As amostras de inverno mostraram comportamento distinto das demais estações, com descréscimo do N mineralizado de 0 a 30 dias, pequeno pico aos 45 dias e novamente um ddecréscimo linear até os 75 dias (Figura 3a). Na profundidade de 5-10 cm, praticamente para todas as estações do ano, observa-se picos de mineralização do N inorgânico aos 15 dias, com decréscimo mais ou menos gradual até os 75 dias. Mas as amostras do inverno mostraram decréscimo dos 15 aos 30 dias e novo acréscimo pequeno dos 30 aos 75 dias. A maior média foi observado no verão (Figura 3b). Os picos mais elevados de N mineral no início da incubação ocorrem devido à disponibilidade da matéria orgânica mais lábil, e a tendência em diminuir a produção pode ser devido a diminuição da disponibilidade deste material persistindo matéria orgânica mais recalcitrante (Pulito, 2009; Blum, 2014; Silveira, 2015).

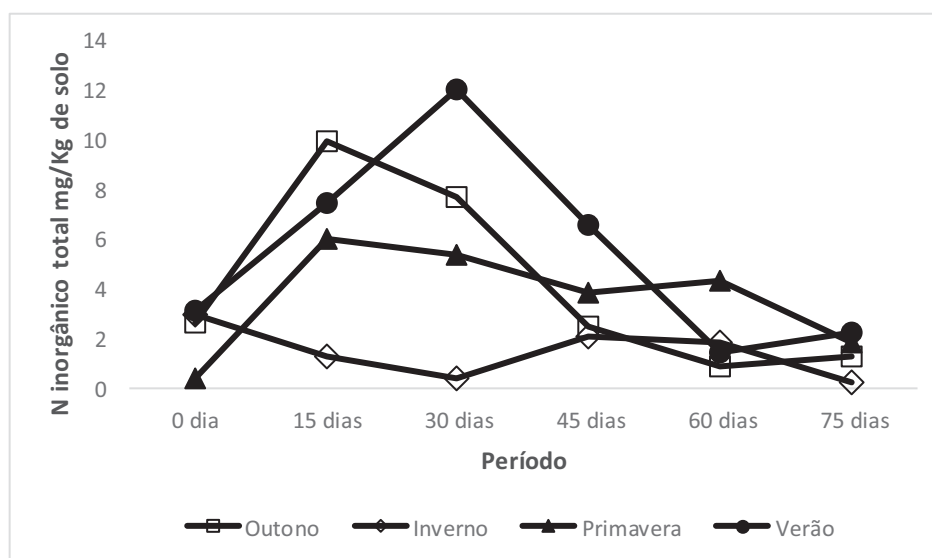
O N total mineralizado em ambas as profundidades foi maior no verão e menor no inverno (Tabela 1). Este comportamento coincide com aquele observado por Silveira (2015) em Floresta Ombrófila Densa, que encontrou o mesmo efeito estacional e pico de produção do N aos 15 dias seguido de decréscimo de produção. Já Woiciechowski (2015), também em Floresta Ombrófila Densa, não encontrou influência da estação sobre a mineralização do N, mas observou comportamento similar com picos de mineralização entre 15 e 30 dias. As diferenças estacionais aqui observadas, e também por Silveira (2015), são explicadas por baixa mineralização em períodos de menos chuva e mais frios, e por valores mais elevados nos períodos mais úmidos e quentes.

Vários são os fatores que podem interferir na mineralização do nitrogênio do solo. A fauna do solo e a qualidade da serapilheira podem controlar o efeito que é dependente do tempo e a macrofauna pode oportunizar a entrada de matéria orgânica mais lábil no solo (Carrillo et al., 2011). Mas também a mudança de temperatura do solo, nas diferentes estações do ano, pode representar alteração da respiração do solo e consequente mineralização do N, onde a maior taxa de respiração pode aumentar a mineralização, refletindo um padrão sazonal (Contosta et al., 2011). Além da temperatura

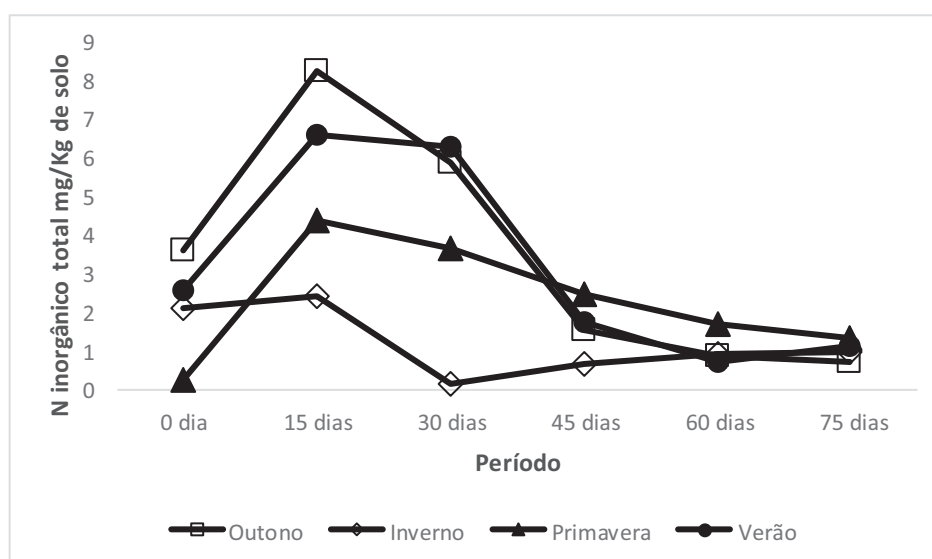
média, que é diferente nas diferentes estações do ano, a precipitação também influencia a mineralização do N devido à relação com a microbiota do solo (Pulito, 2009; Blum, 2011). A tendência em aumentar mineralização do N em resposta ao aumento da temperatura do solo tem sido observada em outros estudos (Butler et al., 2011; Kirschbaum, 1995; Chapman et al., 2013; Reichmann et al., 2013; Quan, et al., 2014).

FIGURA 3. DINÂMICA DO N INORGÂNICO DO SOLO, AO LONGO DE 75 DIAS DE INCUBAÇÃO, NAS DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO, NAS PROFUNDIDADES a) 0-5 CM E b) 5-10 CM.

a)



b)



O nitrogênio potencialmente mineralizável do solo (Tabela 1) na profundidade 0-5 cm foi significativamente maior no verão e menor no inverno. E observou-se que o valor de nitrogênio potencialmente mineralizável no verão foi quatro vezes maior do que no inverno. E na profundidade 5-10 cm foi maior no outono seguido do verão e a menor no inverno. Vários são os fatores que podem interferir na mineralização do nitrogênio do solo, a fauna do solo e a qualidade da serapilheira pode controlar o efeito que é dependente do tempo e a macrofauna pode oportunizar a entrada de matéria orgânica mais lábil no solo (Carrillo et al. 2011). Mas também a mudança de temperatura do solo nas diferentes estações do ano podem representar alteração da respiração do solo e consequente mineralização do N, onde a maior taxa de respiração pode aumentar a mineralização, refletindo um padrão sazonal (Contosta et al. 2011). A tendência em aumentar mineralização do N em resposta ao aumento da temperatura do solo tem sido observado em outros estudos (Butler et al. 2011); (Kirschbaum, 1995); (Chapman et al. 2013); (Reichmann et al. 2013); (Quan, et al. 2014) e (Blum, 2014). Além da temperatura média que é diferente nas diferentes estações do ano a precipitação também influencia a mineralização do N devido a relação com a microbiota do solo (Pulito, 2009); (Blum, 2011). Considerando as maiores precipitações no verão o Espodossolo na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas por apresentar o lençol freático raso, apresenta afloramento do lençol nas estações mais chuvosas tornando o ambiente saturado por água e no inverno o lençol abaixo diminuindo a saturação de água, embora a umidade seja alta o ano todo. E este fato pode ser uma dos fatores que justifica as diferentes taxas de mineralização ao longo do ano.

TABELA 1. NITROGÊNIO POTENCIALMENTE MINERALIZÁVEL DO SOLO NAS DIFERENTES ESTAÇÕES NAS PROFUNDIDADES 0-5 CM E 5-10 CM.

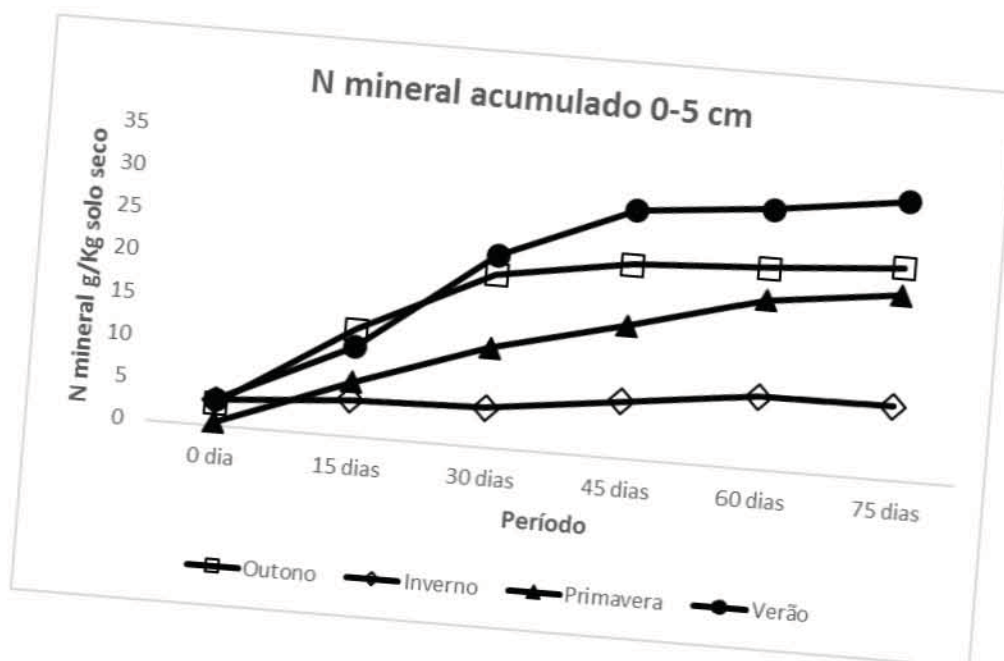
Estação	0-5 cm	5-10 cm	Total
mg N kg solo ⁻¹			
Outono	107,3 ab	93,8a	201,1
Inverno	35,9 b	30,1 b	66
Primavera	76,0 ab	50,2 ab	126,2
Verão	129,2 a	81,6a	210,8

Médias seguidas pelas mesmas letras, na vertical, não diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ($p < 0,10$).

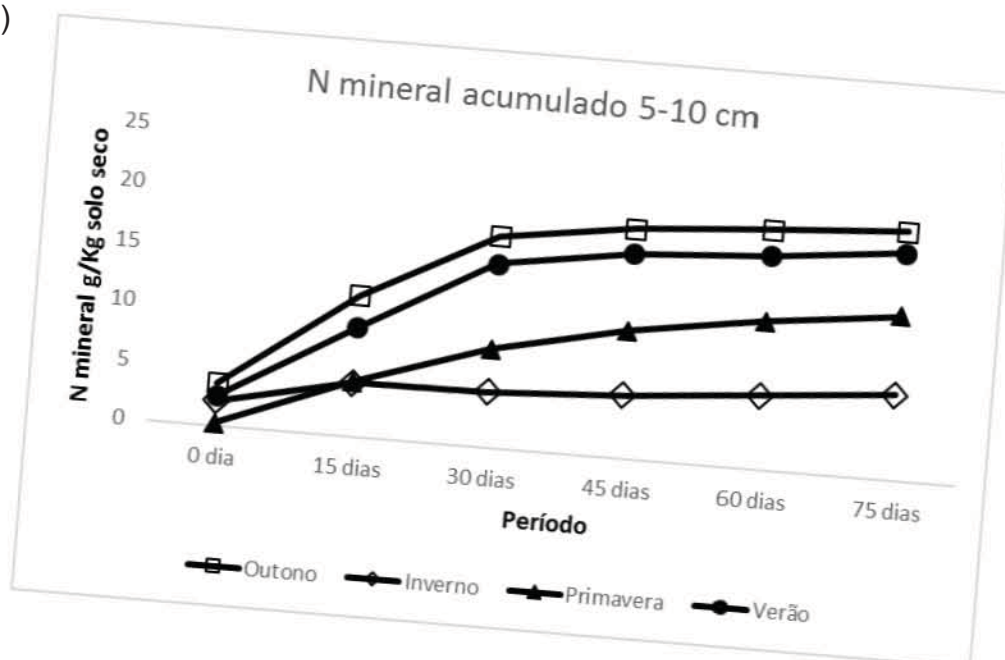
Quanto ao nitrogênio mineral acumulado (Figura 4) na profundidade de 0-5 cm nas diferentes estações observou-se que o maior acúmulo N foi no verão seguido do outono e os menores acúmulos foi no inverno e primavera. Na profundidade 5-10 cm o valor do N mineral acumulado nas diferentes estações do ano o comportamento foi semelhante com maiores valores para o outono e o verão, e os menores valores foram observados no inverno e primavera. A produção e acúmulo do nitrogênio mineralizado ao longo do período de ensaio apresentou comportamento semelhante as taxas de N potencialmente mineralizável onde o verão e outono foram maiores e inverno e primavera tiveram os menores valores. Blum, (2014) observou comportamento similar com ensaio comparando diferentes espécies nativas e exóticas na Floresta Ombrófila Mista. Este comportamento reforça a discussão anterior sobre as características edafoclimáticas que interferem na microbiota do solo ditando as taxas de mineralização de N no solo, (Silveira, 2015); (Woiciechowski, 2015). E Santiago et al. (2013) observaram que a mineralização do nitrogênio foi mais sensível à precipitação pluviométrica sazonal do que a diferença de composição vegetal dos diferentes ecossistemas amazônicos.

FIGURA 4. A) N MINERAL ACUMULADO AO LONGO DO PERÍODO DE 75 DIAS NAS DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO, NA PROFUNDIDADE 0-5 Cm. B) N MINERAL ACUMULADO AO LONGO DO PERÍODO DE 75 DIAS NAS DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO, NA PROFUNDIDADE 5-10 Cm.

a)



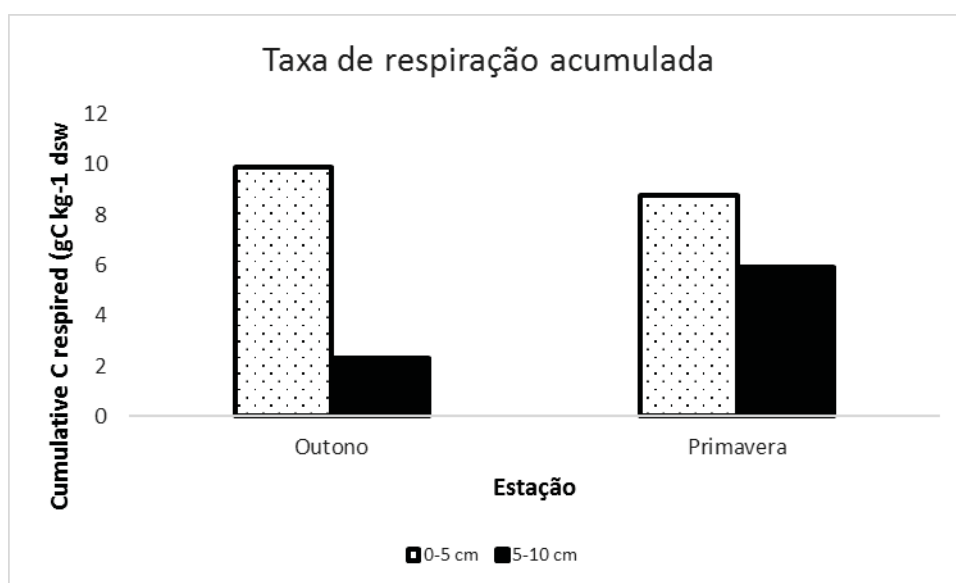
b)



Ensaio de mineralização aeróbica do N

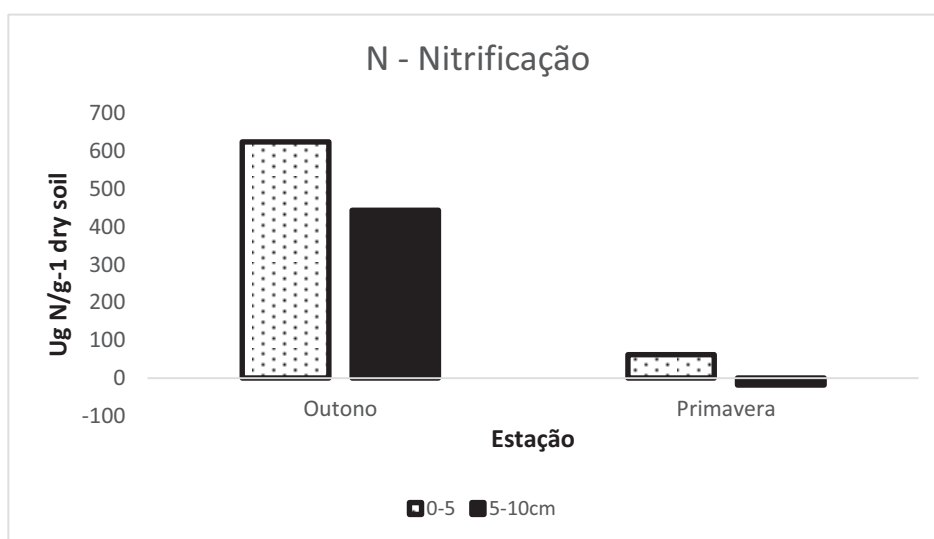
No ensaio aeróbico de mineralização, a respiração acumulada na profundidade 0-5 cm foi ligeiramente superior no outono em comparação com a primavera; e na profundidade 5-10 cm a maior respiração foi observada no solo coletado na primavera (Figura 5). Estes resultados indicam que, mesmo após serem secadas, as amostras guardaram características microbiológicas originárias da época de coleta no campo, as quais se manifestaram após o solo ser umedecido e incubado. E este fato é corroborado com o comportamento distinto entre às duas estações quanto à nitrificação (maior no outono) e à amonificação (maior na primavera) (Figuras 6 e 7). Vários estudos apontam para o fato da umidade ser um fator determinante para a atividade microbiana (Cook et al., 2008; Reichmann et al., 2013; Niu et al., 2016), mas no caso deste Espodossolo, onde a umidade é alta o ano todo, o fator mais restritivo à atividade microbiológica edáfica parece ser o excesso de água, que pode ocorrer na primavera e verão, quando ocorrem as maiores precipitações pluviométricas (Protil, 2007). Nestes períodos de menor oxigenação do solo (primavera), a amonificação se manifestou mais intensamente (Figura 7).

FIGURA 5. RESPIRAÇÃO ACUMULADA AO LONGO DE 15 DIAS DE AMOSTRAS DE ESPODOSSOLO COLETADAS NO OUTONO E NA PRIMAVERA, NAS PROFUNDIDADES 0-5 E 5-10 Cm.



Além da maior taxa de nitrificação observada no outono em relação a primavera, nas duas profundidades 0-5 e 5-10 cm, destaca-se a produção nula de nitrato na profundidade 5-10 cm na primavera, o que seria resultado de um período de encharcamento do solo devido ao afloramento do lençol freático, resultando em menor taxa de nitrificação e aumento de amonificação, porque os microrganismos nitrificantes são essencialmente aeróbicos. Os microrganismos são favorecidos pelas condições impostas nas diferentes estações do ano (Fuchslueger et al., 2014), onde a umidade pode estar diretamente relacionada aos microrganismos oxidantes de NH_4 , que oscilam em diferentes condições induzidas pela umidade do solo e também pela temperatura (Pulito, 2009). Schwarzbach (2005) também observou maior produção de N-NO_3 na estação mais seca, ao estudar solução de solo na mesma área com Espodossolo.

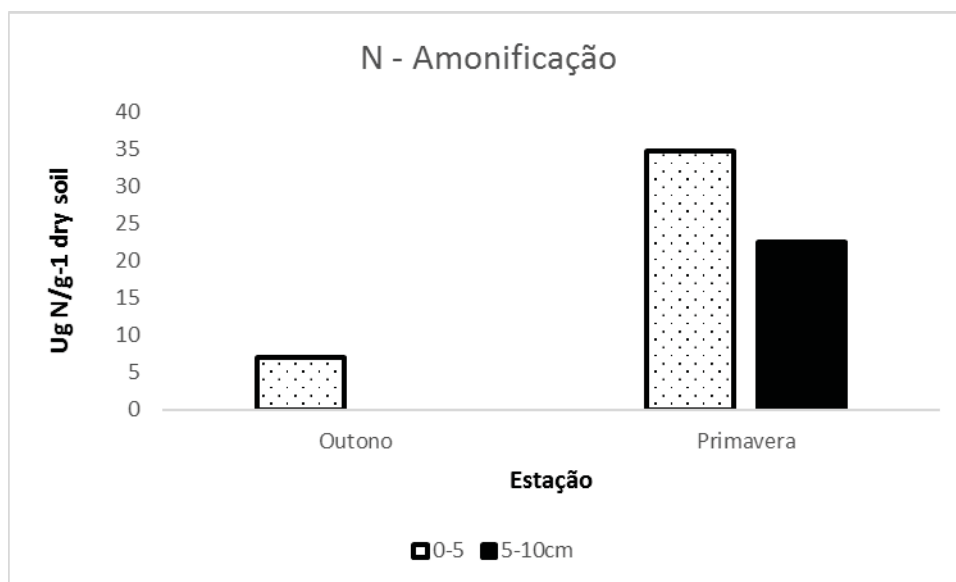
FIGURA 6. TAXA DE NITRIFICAÇÃO AERÓBICA ($\mu\text{gN.g}^{-1}$ DE SOLO SECO) DE AMOSTRAS DE ESPODOSSOLO COLETADAS NO OUTONO E NA PRIMAVERA, NAS PROFUNDIDADES 0-5 E 5-10 Cm.



Quanto à maior amonificação na primavera, Gonçalves et al. (2001) também observaram maior predominância do amônio em relação ao nitrato ao estudar a mineralização no solo em diferentes coberturas florestais e em diferentes estações do ano. Comportamento semelhante foi encontrado por Barreto et al. (2010), que encontraram, maiores taxas de produção de amônio, em relação ao nitrato em plantio de *Eucalyptus*; e este fato foi atribuído às

condições de baixa fertilidade natural, pH ácido do solo e condições físicas, além da população microbiana que favoreceu a amonificação.

FIGURA 7. TAXA DE AMONIFICAÇÃO AERÓBICA ($\mu\text{gN.g}^{-1}$ DE SOLO SECO) DE AMOSTRAS DE ESPODOSSOLO COLETADAS NO OUTONO E NA PRIMAVERA, NAS PROFUNDIDADES 0-5 E 5-10 CM.



4. CONCLUSÕES

A mineralização do N no solo mostrou-se influenciada pelas variáveis meteorológicas e pela umidade do solo. Enquanto temperaturas mais elevadas favoreceram a atividade microbiológica, a umidade do solo, quando excessiva, resulta em menor nitrificação e maior amonificação.

A profundidade do solo teve efeito significativo sobre a mineralização do N, com os maiores valores observados na superfície, onde os teores de carbono são mais elevados.

Os ensaios de mineralização anaeróbico e aeróbico mostraram-se como ferramentas importantes para a identificação do efeito estacional e da profundidade de coleta sobre a mineralização de N no solo.

5. REFERÊNCIAS

APHA, A. E. G.; AWWA, A. D. E.; WEF, L. S. C. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington D. C. American Public Health Association. 1995.

BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F.; ALVES, B. J. R. FONSECA, S. Mineralização de nitrogênio e carbono em solos sob plantações de eucalipto, em uma sequência de idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34. 735-745 p. 2010.

BLUM, H. **Caracterização biogeoquímica da serapilheira e de substâncias húmicas do solo sob plantios com espécies florestais nativas e exóticas no sul do Brasil**. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal – Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. 2014.

BOUWMANN, A. F. Nitrogen oxides and tropical agricultural. **Nature**. v. 392. 1998.

BUTLER, S. M.; MELILLO, J. M.; JOHNSON, J. E.; MOHAN, J.; STEUDLER, P. A.; LUX, H.; BURROWS, E.; SMITH, R. M.; VARIO, C. L.; SCOTT, L.; HILL, T. D.; APONTE, N.; BOWLES, F. Soil warming alters nitrogen cycling in a New England forest: implications for ecosystem function and structure. **Oecologia**. v. 168, n. 3. 819-828 p. 2012.

CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. Potencial de mineralização de nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 21, 575-579 p. 1997.

CARRILLO, Y.; BALL, B. A.; BRADFORD, M. A.; JORDAN, C. F.; MOLINA, M. Soil fauna alter the effects of litter composition on nitrogen cycling in a mineral soil. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 43, 1440 – 1449 p. 2011.

CARVALHO, D. **Características da serapilheira e do solo sob florestas de coníferas e folhosas em Rio Negro, PR**. Dissertação de mestrado em Ciência do Solo – Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2011.

CHAPMAN, L. A. Y.; McNULTY, S. G.; SUN, G.; ZHANG, Y. Net Nitrogen mineralization in natural ecosystems across the conterminous US. **International Journal of Geosciences**. v. 4, 1300-1312 p. 2013.

COOK, F. J.; ORCHARD, V. A. Relationships between soil respiration and soil moisture. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 40. 1013–1018 p. 2008.

CONTOSTA, A. R.; FREY, S. D.; COOPER, A. B. Seasonal dynamics of soil respiration and N mineralization in chronically warmed and fertilized soils. **Ecosphere**. v. 2, n. 3. 2011.

COPELAND, S. M.; BRUNA, E. M.; SILVA, L. V. B.; MACK, M.; VASCONCELOS, H. Short-term effects of elevated precipitation and nitrogen on soil fertility and plant growth in a Neotropical savana. **Ecosphere**. v. 3, n. 4. 2012.

DURÁN, J. H.; MORSE, J. L.; GROFFMAN, P. M.; CAMPBELL, J. L.; CHRISTENSON, L. M.; DRISCOLL, C. T.; FAHEY, T. J.; FISK, M. C.; LIKENS, G. E.; MELILLO, J. M.; MITCHELL, M. J.; TEMPLER, P. H.; VADEBONCOEUR, M. Climate change decreases nitrogen pools and mineralization rates in northern hardwood forests. **Ecosphere**. v.7, n. 3. 2016.

FUCHSLUEGER, L.; KASTL, E. M.; BAUER, F.; KIENZL, S.; HASIBEDER, R.; LADREITER-KNAUSS, T.; SCHMITT, M.; BAHN, M.; SCHLOTER, M.; RICHTER.; SZUKICS, U. Effects of drought on nitrogen turnover and abundances of ammonia-oxidizers in mountain grassland. **Geosciences**. v. 11, 6003–6015 p. 2014.

GONÇALVES, J. L. M.; MENDES, K. C. F. S.; SASAKI, C. M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de SÃO PAULO. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 25, 601-616 p. 2001.

HEINZMANN, F.X.; MIYAZAVA, M.; PAVAN, M.A. Determinação de nitrato por espectrofotometria de absorção ultravioleta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.8, p.159-163. 1984.

KIRSCHBAUM, M. U. F. The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 27, n. 6. 1995.

MORSE, J. L.; DURÁN, J. H.; BEALL, F.; ENANGA, E. M.; CREED, I. F.; FERNANDEZ, I.; GROFFMAN, P. M. Soil denitrification fluxes from three northeastern North American forests across a range of nitrogen deposition. **Oecologia**. 2014.

MORSE, J. L.; DURÁ, J. H.; GROFFMAN, P. M. Soil Denitrification Fluxes in a Northern Hardwood Forest: The Importance of Snowmelt and Implications for Ecosystem N Budgets. **Ecosystems**. Jan. 2015.

MOREIRA, M. F. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2ª ed. Editora UFLA. Lavras. 2006.

MULVANEY, R. L. Nitrogen inorganic forms in: Methods of soil analysis part 3, chemical methods, books series number 5. Madison, USA. **Soil Science Society of America**. n. 5, p. 1123, 1996.

NIU, S.; CLASSEN, A. T.; DUKES, J. S.; KARDOL, P.; LIU, L.; LUO, Y.; RUSTAD, L.; SUN, J.; TANG, J.; TEMPLER, P. H.; QUINN, T.; TIAN, D.; VICCA, S.; WANG, Y. P.; XIA, J.; ZAEHLE, S. Global patterns and substrate-based mechanisms of the terrestrial nitrogen cycle. **Ecology Letters**. v.19. 697–709 p. 2016.

PARRON, L. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PRADO, C. L. C. Mineralização de nitrogênio e biomassa microbiana em solos de Mata de Galeria: Efeito do gradiente topográfico. **Embrapa**. Bol. Pesq. e Desenv. n. 88. Planaltina – DF. 2003.

PEREIRA, E. L.; SANTOS, S. A. P.; ARROBAS, M.; PATRICIO, M. S. Microbial biomass and N mineralization in mixed plantations of broadleaves and nitrogen-fixing species. **Forest Systems**. v. 20, n. 3. 516-524 p. 2011.

PULITO, A. P. **Resposta à fertilização nitrogenada e estoque de nitrogênio biodisponível em solos usados para plantações de *Eucalyptus***.

Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2009.

QUAN, Q.; WANG, C.; HE, N.; ZHANG, Z.; WEN, X.; SU, H.; WANG, Q.; XUE, J. Forest type affects the coupled Relationships of soil C and N mineralization in the temperate forests of northern China. **Nature Scientific Reports**. v. 4. 2014.

REICHMANN, L. G.; SALA, O. E.; PETERS, D. P. C. Water controls on nitrogen transformations and stocks in an arid ecosystem. **Ecosphere**. v. 4, n. 1. 2013.

SANTIAGO, W. R.; VASCONCELOS, S. S.; KATO, O. R.; BISPO, C. J. C.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; CASTELLANI, D. C. Nitrogênio mineral e microbiano do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**. v. 43, n. 4. 395 – 406 p. 2013.

SCHLESINGER, W. H. **Biogeochemistry: na analysis of global change**. Academic Press. California. 1997.

SCHWARZBACH, J. **Dinâmica química da solução do solo em três fases sucessionais da floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no litoral do Paraná**. Dissertação de mestrado em Ciência do Solo – Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2005.

SILVEIRA, F. M. **Ciclagem de nutrientes em estágios sucessionais da Floresta Ombrófila Densa do Paraná**. Tese de doutorado em Engenharia Florestal – Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2015.

YAGI, R.; FERREIRA, M. E.; PESSÔA, M. C.; BARBOSA, J. C. Renato. mineralização potencial e líquida de nitrogênio em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33. 385-394 p. 2009.

WARING, S.A. & BREMNER, J.M. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. **Nature**. 201, 951-952 p. 1964.

WOICIECHOWSKI, T. **Ciclagem de fitomassa e nutrientes na Floresta Ombrófila Densa Submontana no litoral do Paraná**. Tese de doutorado em

Engenharia Florestal – Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal
do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2015.

REFERÊNCIAS GERAIS

- ALEF, K. Soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. Academic Press. London, 1995.
- ALVES, M. P.; VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Efeito da fragmentação florestal sobre o acúmulo de serapilheira em Floresta Estacional Decidual. **ENFLO Ecologia e Nutrição Florestal**. v.2, n.3, p.63-71, set./dez. 2014.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2º ed. Wallingford: CAB International, 1993.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMISCH, K. H. Quantities of plants nutrients in the microbial biomass of selected soils. **Soil Science**. v. 130, n. 4. 1980.
- APHA, A. E. G.; AWWA, A. D. E.; WEF, L. S. C. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington D. C. American Public Health Association. 1995.
- BAQUERIZO-DELGADO, M.; GARCÍA-PALACIOS, P.; MILLA, R. GALLARDO, A.; MAESTRE, F. Soil characteristics determine soil carbon and nitrogen availability during leaf litter decomposition regardless of litter quality. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 81. 134-142 P. 2015.
- BARANTAL, S.; SCHIMANN, H.; FROMIN, N. HATTENSCHWILER, S. C, N and P fertilization in an Amazonian rainforest supports stoichiometric dissimilarity as a driver of litter diversity effects on decomposition. **Proceedings of the Royal Society**. B 281. 2014.
- BARBERENA-ARIAS, M. F.; AIDE, M. Species diversity and trophic composition of litter insects during plant secondary succession. **Caribbean Journal of Science**. v. 39, n. 2, 161–169. 2003.
- BARETTA, D.; BARETTA, C. R. D. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Análise multivariada de atributos microbiológicos e químicos do solo em florestas com *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, Número Especial 2683-2691 p. 2008.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; FIGUEIREDO, S. R.; KLAUBERG-FILHO, O. Efeito do monocultivo de Pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no planalto sul catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.29, p. 715-724. 2005.

BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F.; ALVES, B. J. R. FONSECA, S. Mineralização de nitrogênio e carbono em solos sob plantações de eucalipto, em uma sequência de idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34. 735-745 p. 2010.

BIANCHIN, J. E.; MARQUES, R.; BRITEZ, R. M.; CAPRETZ, R. L. Deposição de Fitomassa em Formações Secundárias na Floresta Atlântica do Paraná. **Floresta e Ambiente**. v. 23, n. 4. 2016.

BIGARELLA, J. J. **A Serra do mar e a porção oriental do estado do Paraná**. Curitiba: Governo do Estado do Paraná - ADEA, 1978.

BLUM, H. **Caracterização biogeoquímica da serapilheira e de substâncias húmicas do solo sob plantios com espécies florestais nativas e exóticas no sul do Brasil**. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal – Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR. 2014.

BOUWMANN, A. F. Nitrogen oxides and tropical agricultural. **Nature**. v. 392. 1998.

BRAGA, R. M.; SOUSA, F. F.; VENTURIN, N.; BRAGA, F. A. biomassa e atividade microbiana sob diferentes coberturas florestais. **CERNE**. v. 22, n. 2, p. 137-144. 2016.

BRITEZ, R. M.; SANTOS FILHO, A.; REISSMANN, C. B.; SILVA, S. M.; ATHAYDE, S. F.; LIMA, R. X.; QUADRO, R. M. B. Nutrientes no solo de duas florestas da planície litorânea da Ilha do Mel, Paranaguá, PR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 21, p. 625-634. 1997.

BUTLER, S. M.; MELILLO, J. M.; JOHNSON, J. E.; MOHAN, J.; STEUDLER, P. A.; LUX, H.; BURROWS, E.; SMITH, R. M.; VARIO, C. L.; SCOTT, L.; HILL, T. D.; APONTE, N.; BOWLES, F. Soil warming alters nitrogen cycling in a New

England forest: implications for ecosystem function and structure. **Oecologia**. v. 168, n. 3. 819-828 p. 2012.

CALDEIRA, M. V. W.; VITORINO, M. D.; SCHAADT, S. S.; MORAIS, E.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 29, n. 1. jan./mar. p. 53-68. 2008.

CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. Potencial de mineralização de nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 21, 575-579 p. 1997.

CAPELLESSO, E. S.; SCROVONSKI, K. L.; ZANIN, E. M.; HEPP, L. U.; BAYER, C.; SAUSEN, T. L. Effects of forest structure on litter production, soil chemical composition and litter-soil interactions. **Acta Botanica Brasilica**. v. 30, n. 3. p. 329-335. July-September, 2016.

CARRILLO, Y.; BALL, B. A.; BRADFORD, M. A.; JORDAN, C. F.; MOLINA, M. Soil fauna alter the effects of litter composition on nitrogen cycling in a mineral soil. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 43, 1440 – 1449 p. 2011.

CARVALHO, D. **Características da serapilheira e do solo sob florestas de coníferas e folhosas em Rio Negro, PR**. Dissertação de mestrado em Ciência do Solo – Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2011.

CASTRO-HUERTA, R. A.; FALCO, L. B.; SANDLER, R. V.; COVIELLA, C. E. Differential contribution of soil biota groups to plant litter decomposition as mediated by soil use. **PEERJ**. 826, march, 2015.

CHAPMAN, L. A. Y.; McNULTY, S. G.; SUN, G.; ZHANG, Y. Net Nitrogen mineralization in natural ecosystems across the conterminous US. **International Journal of Geosciences**. v. 4, 1300-1312 p. 2013.

CONTOSTA, A. R.; FREY, S. D.; COOPER, A. B. Seasonal dynamics of soil respiration and N mineralization in chronically warmed and fertilized soils. **Ecosphere**. v. 2, n. 3. 2011.

COOK, F. J.; ORCHARD, V. A. Relationships between soil respiration and soil moisture. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 40. 1013–1018 p. 2008.

COPELAND, S. M.; BRUNA, E. M.; SILVA, L. V. B.; MACK, M.; VASCONCELOS, H. Short-term effects of elevated precipitation and nitrogen on soil fertility and plant growth in a Neotropical savana. **Ecosphere**. v. 3, n. 4. 2012.

CORRÊA, D. R. **Horizontes orgânicos sob Floresta Ombrófila Densa no litoral paranaense**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2007. 101 p.

CORREIA, M. E. F; OLIVEIRA, L. C. M. **Importância da fauna de solo para a ciclagem de nutrientes**. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Ed.). Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável. Embrapa Agrobiologia. Brasília DF. 2005.

CUNHA NETO, F. V.; LELES, P. S. S.; PEREIRA, M. G.; BELLUMATH, V. G. H.; ALONSO, J. M. Acúmulo e decomposição da serapilheira em quatro formações florestais. **Ciência Florestal**. v. 23, n. 3. p. 379-387, jul.-set., 2013.

DADALTO, J. P.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; MATOS, A. T. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**. v. 35, n. 3. 506- 513 p. 2015.

DELABIE, J. H. C.; RAMOS, L. S.; SANTOS, J. R. M.; CAMPIOLO, S.; SANCHES, C. L. G. Mirmecofauna (Hymenoptera; formicidae) da serapilheira de um Cacaual inundável do agrossistema do rio Mucuri, Bahia: Considerações sobre conservação da fauna e controle biológico de pragas. **Agrotrópica**. v.19, 5 – 12p. 2007.

DEVI, N. B.; YADAVA, P. S. Seasonal dynamics insoil microbial biomass C, N and P in a mixed-oak forest ecosystem of Manipur, Northeast India. **Applied Soil Ecology**. v. 31, n. 3. March, 2006.

DICKOW, K. M. C. **Ciclagem de fitomassa e nutrientes em sucessão secundária na Floresta Atlântica, Antonina, PR.** Tese de doutorado - Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2010. 215 p.

DICKOW, K. M. C.; MARQUES, R.; BENGHI, C. P. Nutrient composition of mature and litter leaves and nutrient mobilization in leaves of tree species from secondary rainforests in the South of Brazil. **Brazilian Archives Biology and Technology**. v.52 n.5. p. 1099-1106, Sept/Oct. 2009.

DICKOW, K. M. C.; MARQUES, R.; PINTO, C. B. Nutrient Ccomposition of mature and litter leaves and nutrient mobilization in leaves of tree species from secondary Rainforests in the South of Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v.52, n. 5. pp. 1099-1106, September-October 2009.

DIONÍSIO, J. A.; PIMENTEL, I. C.; SIGNOR, D.; DE PAULA, A, M.; MACEDA, A.; MATTANA, A. L. **Guia prático de biologia do solo**. SBCS/NEPAR. Curitiba, 2016.

DURÁN, J. H.; MORSE, J. L.; GROFFMAN, P. M.; CAMPBELL, J. L.; CHRISTENSON, L. M.; DRISCOLL, C. T.; FAHEY, T. J.; FISK, M. C.; LIKENS, G. E.; MELILLO, J. M.; MITCHELL, M. J.; TEMPLER, P. H.; VADEBONCOEUR, M. Climate change decreases nitrogen pools and mineralization rates in northern hardwood forests. **Ecosphere**. v.7, n. 3. 2016.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Ed. EMBRAPA, 2013.

EMBRAPA/CNPS. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª. ed. rev. Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA/CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 1999.

FERNANDES, M. M.; MAGALHÃES, L. M. S.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; BRITO, R. J.; MOURA, M. R. Influência de diferentes coberturas florestais na fauna do solo na Flona Mário Xavier, no município de Seropédica, RJ. **Floresta**. v. 41, n. 3, 2011.

FRASSON, J. M. F.; ROSADO, J. L. O.; ELIAS GALVÃO, S.; HARTE-MARQUES, B. Litter decomposition of two pioneer tree Species and associated soil fauna in areas reclaimed after surface coal mining in southern Brazil.

Revista Brasileira de Ciência do Solo. v. 40, 2016.

FUCHSLUEGER, L.; KASTL, E. M.; BAUER, F.; KIENZL, S.; HASIBEDER, R.; LADREITER-KNAUSS, T.; SCHMITT, M.; BAHN, M.; SCHLOTER, M.; RICHTER.; SZUKICS, U. Effects of drought on nitrogen turnover and abundances of ammonia-oxidizers in mountain grassland. **Geosciences.** v. 11, 6003–6015 p. 2014.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v. 29, p. 893-901. 2005.

GIESSELMANN, U. C.; MARTINS, K. G.; BRÄNDLE, M.; SCHÄDLER, M.; MARQUES, R.; BRANDL, R. Diversity and ecosystem functioning: Litter decomposition dynamics in the Atlantic Rainforest. **Applied Soil Ecology.** v. 46, n.2. p. 283-290. 2010.

GODINHO, T. O.; VALDEIRA, M. V. W.; ROCHA, J. H. T.; CALIMAN, J. P.; TRAZZI, P. A. Quantificação de biomassa e nutrientes na serapilheira acumulada em trecho de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES. **CERNE.** v. 20, n. 1. 11-20 p. jan./mar, 2014.

GOMES, D. S.; ALMEIDA, F. S.; VARGAS, A. B.; QUEIROZ, J. M. Resposta da assembleia de formigas na interface solo-serapilheira a um gradiente de alteração ambiental. **Iheringia, Série Zoologia.** v. 103, n. 2. 104-109 p. 2013.

GOMES, J. M.; PEREIRA, M. G.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; PEREIRA, G. H. A.; GONDIM, F. R.; SILVA, E. M. R. Aporte de serapilheira e de nutrientes em fragmentos florestais da Mata Atlântica, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias.** v.5, n.3. p.383-391, jul.-set., 2010.

GONÇALVES, J. L. M.; MENDES, K. C. F. S.; SASAKI, C. M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de SÃO PAULO. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v. 25, 601-616 p. 2001.

GONZÁLEZ, G.; LEY, R. E.; SCHMIDT, S. K.; ZOU, X.; SEASTEDT, T. R. Soil ecological interactions: comparisons between tropical and subalpine forests. **Oecologia**. v. 128. 549-556 p. 2001.

HAMMER, O.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P. D. **Paleontological statistics software package for education and data analysis**. Paleontological Data Analysis. Blackwell. 2001. PAST.

HATTENSCHWILER, S.; GASSE, P. Soil animals alter plant litter diversity effects on decomposition. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America – PNAS**. v. 102, n. 5, 2005.

HEINZMANN, F.X.; MIYAZAVA, M.; PAVAN, M.A. Determinação de nitrato por espectrofotometria de absorção ultravioleta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.8, p.159-163. 1984.

HOPKINS, B. Vegetation of the Olkemeji Forest Reserve, Nigéria. In: The litter and soil with special reference to their seasonal changes. **Journal of Ecology**. v.54. p.687-703, 1966.

INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods**. 2nd ed. Wallingford: UK CAB International, 171 p.1996.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. Disponível em: http://www.iap.pr.gov.br/modules/ucps/aviso.php?codigo=63&codigo_cat=0> Acesso em 30 mai. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 10 out. 2016.

IPARDES. **Zoneamento da Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba**. Curitiba: IPARDES, 150 p. 2001.

KHALEID. F.; EL-WAKEIL. A. Effects of terrestrial isopods (Crustacea: Oniscidea) on leaf litter decomposition processes. **The Journal of Basic & Applied Zoology**. v. 69, p. 10-16. 2015.

KIRSCHBAUM, M. U. F. The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 27, n. 6. 1995.

MAGNUSSON, W.E.; LIMA, A. P.; LUIZÃO, R.; LUIZÃO, F.; COSTA, F. R. C.; CASTILHO, C. V. C.; KINUPP, V. F. RAPELD: A modification of the gentry method for biodiversity surveys in long-term ecological research sites. **Biota Neotropica**. v. 5, n. 2. 2005.

MARQUES, D. M.; SILVA, A. B.; SILVA, L. M.; MOREIRA, E. A.; PINTO, G. S. Macrofauna edáfica em diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**. v. 30, n. 5. 1588-1597 p. Sept./Oct. 2014.

MARQUES, M. C. M.; ZWIENER, V. P.; RAMOS, F. M.; BORG, M. MARQUES, R. Forest structure and species composition along a successional gradient of Lowland Atlantic Forest in Southern Brazil. **Biota Neotropica**. v. 14, n. 3. 2014.

MARQUES, M.C.M.; SWAINE, M.D.; LIEBSCH, D. Diversity distribution and floristic differentiation of the coastal lowland vegetation: implications for the conservation of the Brazilian Atlantic Forest. **Biodiversity and Conservation**. v. 20. 153-168. 2011.

MARQUES, M.C.M.; ZWIENER, V.P.; RAMOS, F.M.; BORG, M.; MARQUES, R. Forest structure and species composition along a successional gradient of Lowland Atlantic Forest in Southern Brazil. **Biota Neotropica**. v. 14, n. 3. 2014.

MARTINS, A. P. L; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico analíticos. **Scientia Agraria**. v. 8, n. 1. p. 1-17, 2007.

MARTINS, K. G. **Deposição e decomposição de serapilheira em uma Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas sobre solos hidromórficos na estação ecológica da Ilha do Mel – PR**. Dissertação de Mestrado – Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2004.

MERLIM, A. O. **Macrofauna edáfica em ecossistemas preservados e degradados de Araucária no Parque Estadual de Campos do Jordão, SP.**

Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo. 2005.

MOÇO, M. K. S.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; CORREIA, M. E. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 29, p. 555-564. 2005.

MOREIRA, M. F. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2ª ed. Editora UFLA. Lavras. 2006.

MORSE, J. L.; DURÁN, J. H.; GROFFMAN, P. M. Soil Denitrification Fluxes in a Northern Hardwood Forest: The Importance of Snowmelt and Implications for Ecosystem N Budgets. **Ecosystems**. Jan. 2015.

MORSE, J. L.; DURÁN, J. H.; BEALL, F.; ENANGA, E. M.; CREED, I. F.; FERNANDEZ, I.; GROFFMAN, P. M. Soil denitrification fluxes from three northeastern North American forests across a range of nitrogen deposition. **Oecologia**. 2014.

MULVANEY, R. L. Nitrogen inorganic forms in: Methods of soil analysis part 3, chemical methods, books series number 5. Madison, USA. **Soil Science Society of America**. n. 5, p. 1123, 1996.

NEHER, D. A.; WEICHTA, T.R.; BARBERCHECKB, M.E. Linking invertebrate communities to decomposition rate and nitrogen availability in pine forest soils. **Applied Soil Ecology**. v. 54, p. 14-23, 2012.

NIU, S.; CLASSEN, A. T.; DUKES, J. S.; KARDOL, P.; LIU, L.; LUO, Y.; RUSTAD, L.; SUN, J.; TANG, J.; TEMPLER, P. H.; QUINN, T.; TIAN, D.; VICCA, S.; WANG, Y. P.; XIA, J.; ZAEHLE, S. Global patterns and substrate-based mechanisms of the terrestrial nitrogen cycle. **Ecology Letters**. v.19. 697–709 p. 2016.

OLIVEIRA, E. A.; CALHEIROS, F. N.; CARRASCO, D. S.; ZARDO, C. M. L. Famílias de Hymenoptera (Insecta) como ferramenta avaliadora da

conservação de Restingas no extremo sul do Brasil. **EntomoBrasilis**. v. 2, n. 3. 64-69 p. 2009.

OTT, D.; BJORN, C. R.; BROSE, U. Climate change effects on macrofaunal litter decomposition: the interplay of temperature, body masses and stoichiometry. **Philosophical Transactions Royal Society B**. v. 367, 3025–3032 p. 2012.

PARRON, L. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PRADO, C. L. C. Mineralização de nitrogênio e biomassa microbiana em solos de Mata de Galeria: Efeito do gradiente topográfico. **Embrapa**. Bol. Pesq. e Desenv. n. 88. Planaltina – DF. 2003.

PAULA, R. R.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, L. F. T.; Aporte de nutrientes e decomposição da serapilheira em três fragmentos florestais periodicamente inundados na Ilha da Marambaia, RJ. **Ciência Florestal**. v. 19, n. 2. p. 139-148, abr.-jun. 2009.

PEÑA, M. L.; MARQUES, R.; JAHNEL, M. C.; DOS ANJOS, A. Respiração microbiana como indicador da qualidade do solo em ecossistema florestal. **Floresta**. v.35, n. 1, jan./abr. 2005.

PEREIRA, E. L.; SANTOS, S. A. P.; ARROBAS, M.; PATRICIO, M. S. Microbial biomass and N mineralization in mixed plantations of broadleaves and nitrogen-fixing species. **Forest Systems**. v. 20, n. 3. 516-524 p. 2011.

PEREIRA, G.H. A.; PEREIRA, M. G.; DOS ANJOS, L. H. C.; AMORIM, T. A.; MENEZES, C. E. G. Litter decomposition, diversity and functionality of soil invertebrates in an Atlantic Rain Forest fragment. **Bioscience Journal**. v. 29, n. 5. p. 1317-1327, Sept./Oct. 2013.

PEREIRA, M. G.; MENEZES, L. F. T.; SCHULTZ, N. Aporte e decomposição da serapilheira na Floresta Atlântica, Ilha da Marambaia, Mangaratiba, RJ. **Ciência Florestal**. v. 18, n. 4, p. 443-454, out.-dez. 2008.

PEREIRA, M. G.; SILVA, A. N.; PAULA, R. R.; MENEZES, F. T. Aporte e decomposição de serapilheira em floresta periodicamente inundável na restinga da Marambaia, RJ. **Ciência Florestal**. v. 22, n. 1, p. 59-67. jan.-mar, 2012.

PEREIRA, R. C.; ALBNEZ, J. M.; MAMÉDIO, I. M. P. Diversidade da meso e macrofauna edáfica em diferentes sistemas de manejo de uso do solo em Cruz das Almas – BA. **Magistra**. v. 24, número especial. 63-76 p. dez. 2012.

PIETIKAINEN, J.; PETTERSSON, M.; BAATH, E. Comparison of temperature effects on soil respiration and bacterial and fungal growth rates. **FEMS Microbiology Ecology**. v. 52. 2005.

PINTO, C. B.; MARQUES, R. Aporte de nutrientes por frações da serapilheira em sucessão ecológica de um ecossistema da Floresta Atlântica. **Floresta**. v. 33, n. 3, 2003.

PINTO-JUNIOR, O. B.; SANCHES, L.; DALMOLIN, A. C.; NOGUEIRA, J. S. Efluxo de CO₂ do solo em floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de pastagem. **Acta Amazonica**. v. 39, n. 4. 813 – 822 p. 2009.

PIRES, L. A.; BRITZ, R. M.; MARTEL, G.; PAGA, S. N. Produção, acúmulo e decomposição da serapilheira em uma restinga da Ilha do Mel, Paranaguá, PR, Brasil. **Acta botânica brasileira**. v.20, n.1. p. 173-184. 2006.

PROTIL, C. Z. **Contribuição de quatro espécies arbóreas ao ciclo biogeoquímico em Floresta Atlântica na planície litorânea do Paraná**. Tese de doutorado - Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2006. 150 p.

PULITO, A. P. **Resposta à fertilização nitrogenada e estoque de nitrogênio biodisponível em solos usados para plantações de *Eucalyptus***. Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2009.

QUADROS, A. F.; ZIMMER, M.; ARAUJO, P. B.; KRAY, J. G. Litter traits and palatability to detritivores: a case study across bio-geographical boundaries. **Nauplius**. v.22, n. 2. p. 103-111, 2014.

QUAN, Q.; WANG, C.; HE, N.; ZHANG, Z.; WEN, X.; SU, H.; WANG, Q.; XUE, J. Forest type affects the coupled Relationships of soil C and N mineralization in the temperate forests of northern China. **Nature Scientific Reports**. v. 4. 2014.

REICHMANN, L. G.; SALA, O. E.; PETERS, D. P. C. Water controls on nitrogen transformations and stocks in an arid ecosystem. **Ecosphere**. v. 4, n. 1. 2013.

ROCHA, A. A. **Deposição de fitomassa e nutrientes, acumulação e decomposição de serapilheira em três tipologias da Floresta Atlântica, Paranaguá, PR**. Dissertação de mestrado - UFPR. 2006.

RODRIGUES, W.C. 2007. **DivEs - Diversidade de Espécies - Guia do Usuário**. Seropédica: Entomologistas do Brasil. 9p. Disponível em: <<http://www.ebras.bio.br/dives/>>.

SANTIAGO, W. R.; VASCONCELOS, S. S.; KATO, O. R.; BISPO, C. J. C.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; CASTELLANI, D. C. Nitrogênio mineral e microbiano do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**. v. 43, n. 4. 395 – 406 p. 2013.

SANTOS, E.; SANTOS, R. C.; MARQUES, R. Macrofauna edáfica na interface solo-serrapilheira e a relação com atributos químicos de um Espodossolo sob dois diferentes sistemas de conservação e uso do solo no município de Paranaguá-PR. **Enciclopedia Biosfera**. v.11, n.21, p. 2294. 2015.

SCHEER, M. B. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em um trecho de Floresta Ombrófila Densa Aluvial em regeneração, Guaraqueçaba (PR). **Floresta**. v. 38, n. 2, abr./jun. 2008.

SCHLESINGER, W. H. **Biogeochemistry: na analysis of global change**. Academic Press. California. 1997.

SCHMIDT, P.; DICKOW, K.; ROCHA, A. A.; MARQUES, R.; SCHEUERMANN, L.; ROMBKE, J.; FORSTER, B.; HOFER, H. Soil macrofauna and decomposition rates in southern brazilian Atlantic Rainforests. **ECOTROPICA**. v.14, p. 89–100. 2008.

SCHWARZBACH, J. **Dinâmica química da solução do solo em três fases sucessionais da floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no litoral do Paraná**. Dissertação de mestrado em Ciência do Solo – Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2005.

SCORIZA, R. N.; CORREIA, M. E. F. Soil Fauna as Indicator in Slope Forest Fragments. **Floresta e Ambiente**. V. 23, n. 4. 2016.

SCORIZA, R. N.; PEREIRA, M. G.; PEREIRA, H. A.; MACHADO, D. L.; SILVA, E. M. R. Métodos para coleta e análise de serapilheira aplicados à ciclagem de nutrientes. **Floresta & Ambiente**. Série Técnica. v.2, n.2. p. 01 - 18, 2012.

SELLE, G.L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience Journal**. v. 23, n. 4. 29-39 p. 2007.

SHANKS, R.; OLSON, J.S. First year breakdown of leaf litter in Southern Appalachia. **Forest Science**. v.134. p.194-195, 1961.

SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; ABREU JR., J. S. métodos de quantificação da matéria orgânica do solo. **Revista da Universidade de Alfenas**. v. 5, 1999.

SILVA, C. F.; PEREIRA, G. H. A.; PEREIRA, M. G.; SILVA, A. N.; MENEZES, L. F. T. Fauna edáfica em área periodicamente inundável na restinga da Marambaia, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37. p. 587-595. 2013.

SILVA, H. F.; BARRETO, P. A. B.; SOUSA, G. T. O.; AZEVEDO, G. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; OLIVEIRA, F. G. R. Decomposição de serapilheira foliar em três sistemas florestais no Sudoeste da Bahia. **Brazilian Journal of Biosciences**. v. 12, n. 3, p. 164-172, jul./set. 2014.

SILVA, M. S. C.; SILVA, E. M. R.; PEREIRA, M. G.; SILVA, C. F. Estoque de Serapilheira e Atividade Microbiana em Solo sob Sistemas Agroflorestais. **Floresta e Ambiente**. v. 19, n. 4 out./dez. 2012.

SILVA, W. M.; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; TIEPPO, R. C.; CARVALHO, J. M.; LONGO, L.; FERRI, M.; MAGALHÃES, W. A. Emissão de CO₂ e potencial de conservação de C em solo submetido à aplicação de diferentes adubos orgânicos. **Revista Agrarian**. v. 3, n.7. p.34-43, 2010.

SILVEIRA, F. M. **Ciclagem de nutrientes em estágios sucessionais da Floresta Ombrófila Densa do Paraná**. Tese de doutorado - Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2015. 144 p.

SISTEMA METEOROLÓGICO DO PARANÁ - SIMEPAR. Banco de dados meteorológicos do SIMEPAR. Disponível em: <<http://www.simepar.br/>> Acesso em 10 jan. 2017.

SLADE, E. M.; RIUTTA, T. Interacting effects of leaf litter species and macrofauna on decomposition in different litter environments. **Basic and Applied Ecology**. v. 13, 423–431 p. 2012.

SOUZA, R. C.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; SILVA, E. M. R.; PAULA, R. R.; MENEZES, L. F. T. Estrutura da comunidade da fauna edáfica em fragmentos florestais na Restinga da Marambaia, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.3, n.1, p.49-57, jan/mar. 2008.

SWIFT, M. J.; BIGNELL, D.; MOREIRA, F. M. S.; HUISING, J. O inventário da diversidade biológica do solo: conceitos e orientações gerais. In: MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. **Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade**. Ed. UFLA. Lavras, 2010.

TER BRAAK, C. J. F.; SMILAUER, P. **CANOCO Reference manual and user's guide to Canoco for Windows: Software for canonical community ordination (version 4)**. Microcomputer Power. New York. 1998.

THOKCHOM, A.; YADAVA, P. S. **Soil CO₂ flux in the different ecosystems of North East India: In: Carbon Utilization: Applications for the Energy Industry**. Ed. Springer. 2017.

VALENTINI, C. M. A.; SOARES, G. S.; SANTANA, R. A.; GUIMARÃES, A. F. S.; SILVA, A. H. B. Produção, acúmulo e decomposição de serapilheira em uma área revegetada do Parque Estadual Massairó Okamura em Mato Grosso. **Holos**. v.5. p. 211 – 221, 2014.

VANHONI, F.; MENDONÇA, F. O clima do litoral do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**. Agosto. 2008.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 24, n. 1. Jan/mar. 2000.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. IBGE - Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro, 124p.1991.

VILLELA, D. M.; MATTOS, E. A.; PINTO, A. S.; VIEIRA, S. A.; MARTINELLI, L. A. Carbon and nitrogen stock and fluxes in coastal Atlantic Forest of southeast Brazil: potential impacts of climate change on biogeochemical functioning. **Brazilian Journal of Biology**. vol. 72, n. 3 (suppl.), p. 633-642. 2012.

WARING, S.A. & BREMNER, J.M. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. **Nature**. 201, 951-952 p. 1964.

WOICIECHOWSKI, T. **Ciclagem de fitomassa e nutrientes na Floresta Fmbrófila Densa Submontana no litoral do Paraná**. Tese de doutorado em Engenharia Florestal – Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 2015.

XIAO, W.; GE, X.; ZENG, Z.; LEI, J.; ZHOU, B.; LI, M. Rates of litter decomposition and soil Respiration in relation to soil temperature and water in diferente-aged *Pinus massoniana* forests in the Three Gorges Reservoir Area, China. **PLOS ONE**. v. 9, n. 7. 2014.

YAGI, R.; FERREIRA, M. E.; PESSÔA, M. C.; BARBOSA, J. C. Renato. mineralização potencial e líquida de nitrogênio em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33. 385-394 p. 2009.

YUESTE, J. C.; HERES, A. M.; OJEDA, G.; PAZ, A.; PIZANO, C.; GARCÍA-ÂNGULO, D.; LASSO, E. Soil heterotrophic CO₂ emissions from tropical high-elevation ecosystems (Paramos) and their sensitivity to temperature and moisture fluctuations. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 110. 2017.